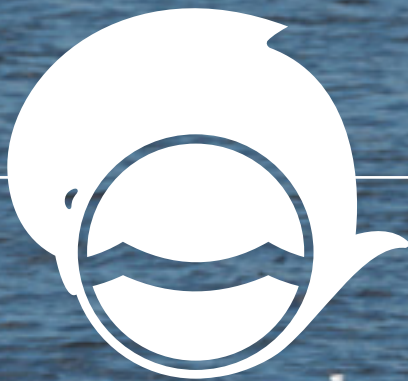




РОБОТОТЕХНИКА
И ИСКУССТВЕННЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ
В СУДОСТРОЕНИИ

№1 (25)
2024



КОНЦЕРН
МОРИНФОРМСИСТЕМА-АГАТ

МОРСКИЕ
ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ



РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КАК БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ РЕЗИДЕНТНОГО ТИПА

В последние десятилетия искусственный интеллект (ИИ) стал одной из самых динамично развивающихся областей технологий, оказывающей значительное влияние на различные сферы жизни человека. С его появлением возникли новые возможности в области обработки данных, автоматизации процессов и создания интеллектуальных систем управления робототехническими комплексами, способных адаптироваться к разнообразным условиям окружающей среды.

Развитие искусственного интеллекта прошло долгий путь, начиная с простых алгоритмов и методов машинного обучения до высокоэффективных глубоких нейронных сетей и алгоритмов усиления обучения. Этот прогресс обеспечил решение сложных задач, которые ранее казались невозможными для автономных систем. Современный искусственный интеллект – это когнитивная система, которая способна воспринимать свою среду и принимать меры, чтобы максимизировать шансы на успешное достижение своих целей, а также интерпретировать и анализировать данные таким образом, чтобы ИИ обучался и адаптировался по мере развития.

Санкт-Петербургский морской
технический университет¹
Санкт-Петербург



АО «НПП ПТ «Океанос»²
Санкт-Петербург

А.М. Маевский^{1,2}, В.Ю. Занин²



Несмотря на то что разработка искусственного интеллекта началась еще в 50-х годах XX века, именно 2023 год можно считать годом популяризации ИИ. На это, конечно, повлияло появление чат-ботов, таких как ChatGPT. Сегодня ИИ затрагивает множество отраслей – от здравоохранения и финансов до робототехники и технологий поиска полезных ископаемых. «В 2024-м тренд (ИИ) продолжит проникать во все сферы – оставаться в стороне станет еще сложнее», – констатирует РБК в материале, опубликованном в январе 2024 года. [1]. Как известно, более 95% океанов и морей на нашей планете остаются неизведанными или недостаточно изученными [2–4]. Геолого-геофизическая изученность российского шельфа продолжает оставаться крайне низкой. На таких морях, как море Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Берингово, не завершена региональная стадия геофизических работ, а глубокое бурение проводилось лишь в Баренцевом, Карском и Охотском морях.

Примером эффективности изучения служит Приразломное нефтяное месторождение, являющееся первым и пока единственным российским шельфовым месторождением в Арктике, где идет промышленная добыча нефти. Оно расположено в юго-восточной части Баренцева моря в 60 км от берега. Извлекаемые запасы составляют 79 млн тонн. О реальном потенциале других возможных месторождений можно только догадываться.

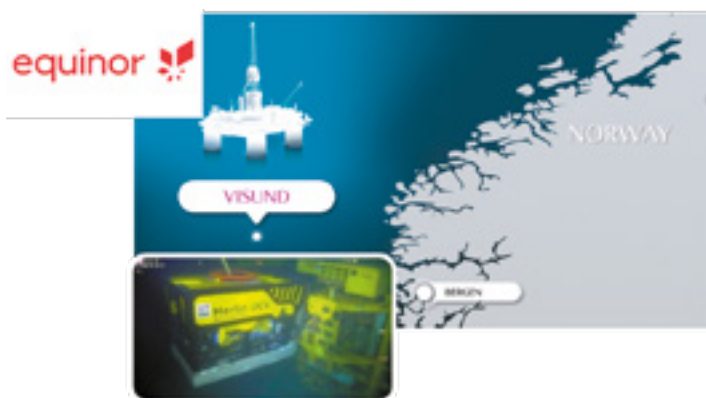
Анализ мирового развития ИИ в области морской робототехники

Необходимость развития морских робототехнических систем (МРТС) и соответственно морских робототехнических комплексов (МРТК) как средств разведки, освоения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых (особенно глубоководных и арктических месторождений) за рубежом и в России осознали достаточно давно [5–7], к этому же выводу пришли и океанологи в части введения МРТС в состав

донных обсерваторий или пространственных гидрофизических полигонов [8]. Результатом такого развития стало создание области резидентной робототехники [9]. Резидентная робототехника – новейший класс МРТС, функционирующих в составе донной инфраструктуры нефтегазового месторождения с базированием робототехники на стационарные или мобильные донные либо расположенных в водной толще станции, которые имеют энергетические и командные коммуникации с иными объектами подводной, береговой или надводной инфраструктуры (включая зеленую генерацию энергии течений или солнечного, ветрового, волнового, приливного характера). К 2021 году такие компании, как IKM Subsea & Technology (Норвегия), перешли к выполнению коммерческих контрактов резидентными подводными телеуправляемыми аппаратами Merlin на месторождениях Snorre B [10] и Visund для компании Equinor в Северном море [11] на регулярной основе.

Другие участники «резидентной технологической гонки» – Oceaneering International, Inc., США (аппарат Freedom и др.), Saab Seaeeye Limited, Великобритания (аппарат Sabertooth), DFKI, Германия (аппарат FlatFish) – тоже не отстают и активно продвигают применение резидентных технологий в нефтегазовой отрасли. Одним из основных фокусов для всех разработчиков подводных аппаратов является исследование возможностей интегрирования технологий искусственного интеллекта в бортовые системы МРТК.

К примеру, аппарат FlatFish [13] является частью платформы Hydron – новаторской программы подводной робототехники, задуманной для проведения удаленных операций без задействования судов обеспечения (резидентных технологий). Платформа предназначена для снижения затрат, всего спектра рисков морских операций и негативного воздействия на окружающую среду (обеспечивает на 90% меньше выбросов CO₂ по сравнению с обычными услугами телеуправляемых обитаемых подводных аппаратов (ТПА)). Аппараты типа Hydron обладают различной конфигурацией,

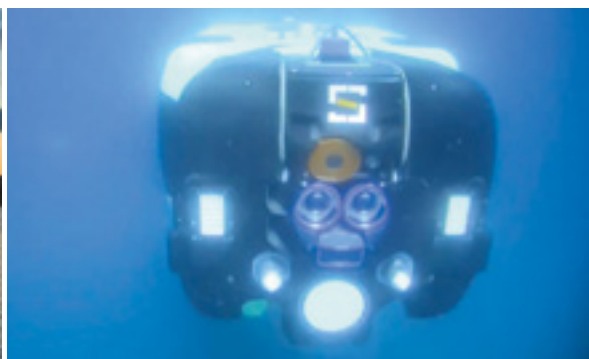


Пример работ подводных резидентных аппаратов IKM Subsea & Technology на месторождениях Snorre B и Visund в Северном море [12]





Составляющие платформы Hydrone и визуализация работы НПА Hydrone-R с рабочей панелью подводного добывающего комплекса (ПДК)



Подводный резидентный НПА FlatFish в процессе опытной эксплуатации у побережья Бразилии

что позволяет им выполнять широкий круг задач, включая инспекцию подводных сооружений, интервенционные операции на объектах подводной инфраструктуры и другие.

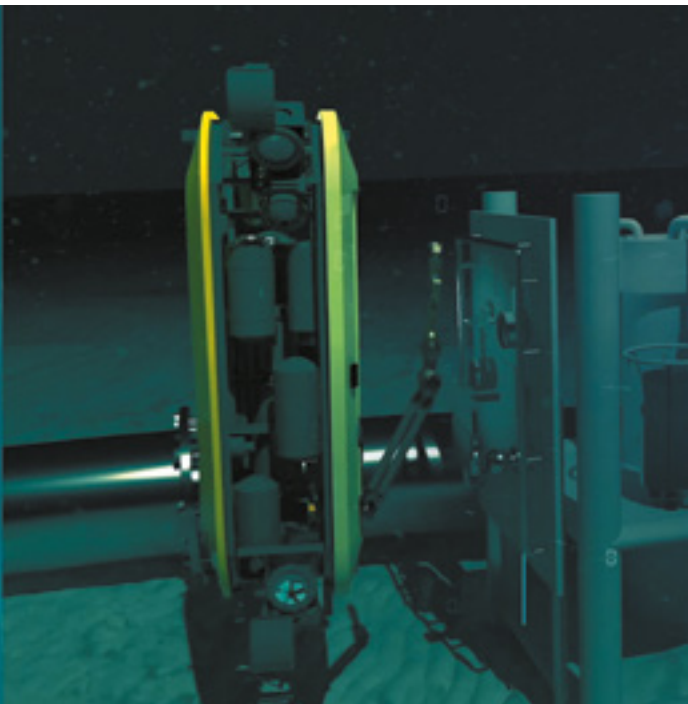
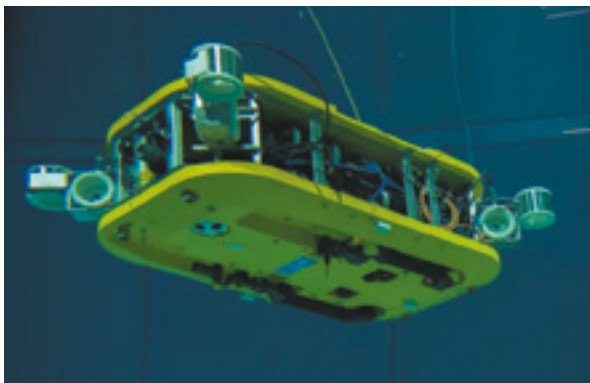
НПА FlatFish, отобранный для примера, оснащен усовершенствованной системой управления на основе искусственного интеллекта, способной автономно выполнять миссии с учетом принятия решений в режиме реального времени. Система ИИ также интегрирована в систему технического зрения, что в сочетании с модулями полезной нагрузки позволяет проводить 3D-реконструкцию и сбор внешних данных с подводных месторождений и объектов подводной инфраструктуры. Благодаря интегрированным технологиям ИИ НПА FlatFish обеспечивает инспектирование и мониторинг сложной подводной инфраструктуры от мелководья до глубины 3000 м. Недавно НПА FlatFish прошел натурные испытания (опытную эксплуатацию), проведенные у побережья Бразилии при участии компаний Shell Brasil, Senai CIMATEC и Petrobras в рамках совместной исследовательской программы. В ходе этих испытаний удалось достигнуть глубины 1800 м [15, 16].

Еще один важный шаг в направлении развития ИИ в МРТС типа «интервенционный автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), резидентного базирования» был сделан консорциумом ведущих компаний и исследовательских институтов в области информационных технологий и искусственного интеллекта (DFKI Cognitive Assistance Systems, Embedded Intelligence и другие), робототехники,

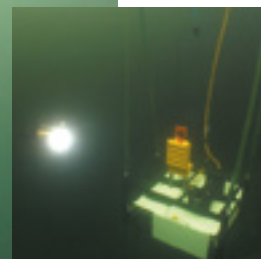
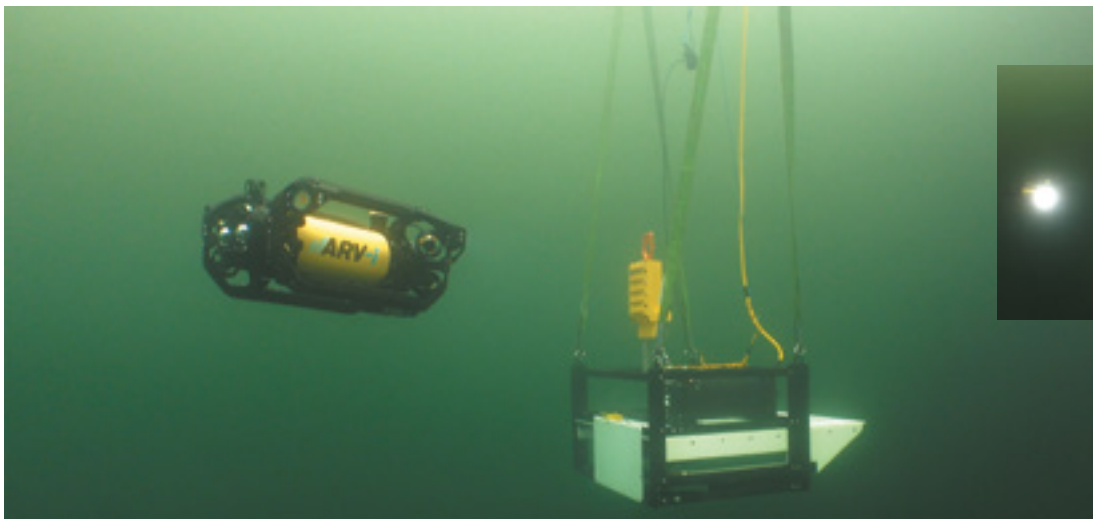
приводных технологий и морских нефтегазовых операций под руководством Инновационного центра робототехники DFKI (также принимавшем участие в разработке НПА FlatFish) в проекте Mare-IT, в рамках которого создан интервенционный АНПА с двумя манипуляторными комплексами для работ по техническому обслуживанию и ремонту подводных сооружений [18, 19]. Как говорят сами разработчики: «С помощью Mare-IT мы еще раз смогли продемонстрировать, что разработка автономных роботов для сложных подводных видов деятельности не может быть реализована без машинного обучения и искусственного интеллекта» [20, 21].

В 2023 году Boxfish Robotics (панее Boxfish Research) и Transmark Subsea разработали ARV-I [23] – АНПА резидентного типа, спроектированный специально для решения задач постоянного мониторинга подводных объектов. Благодаря способности оставаться под водой до 12 месяцев он идеально подходит для морских энергетических установок, нефтяных и газовых платформ, ветряных электростанций, аквакультуры и рыболовства [24]. АНПА может автоматически возвращаться на док-станцию для подзарядки аккумулятора и передачи собранных данных.

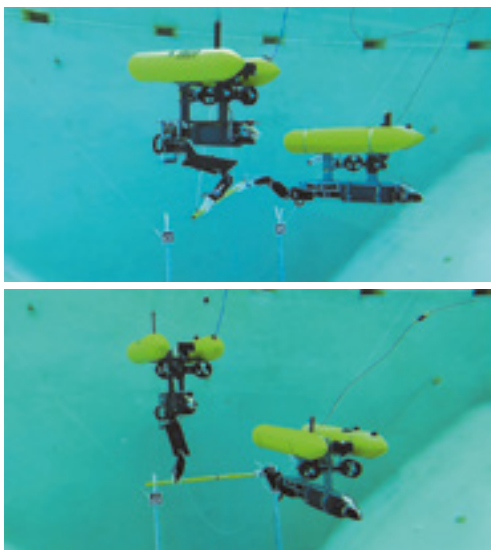
ARV-i использует комбинацию заранее запрограммированной информации и возможности искусственного интеллекта для обнаружения и наблюдения за подводными объектами. Также ИИ и техническое зрение помогают АНПА автономно и безопасно перемещаться в подводной среде, избегая препятствия. ARV-i [26] способен самостоятельно планировать



Подводный интервенционный АНПА Mare-IT в ходе выполнения сервисных работ на макете рабочей панели ПДК [22]



Натурные испытания (процесс позиционирования относительно доковой станции) АНПА резидентного типа ARV-i [25]



Процесс полунатурной отработки кооперативного управления двух I-AUV Girona 500 в ходе выполнения задачи по укладке трубы в заданные позиции (используются машинчитаемые знаки) [31–34]

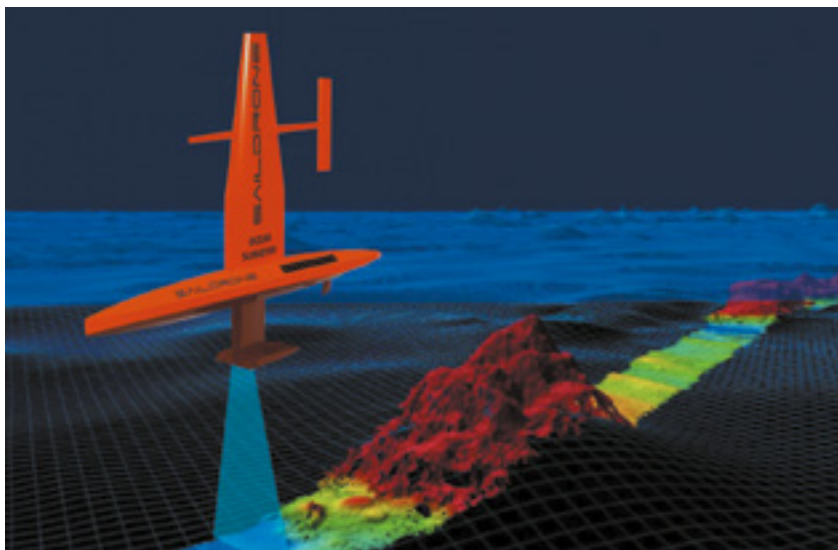


Иллюстрация работы Saildrone в режиме батиметрической съемки

свой путь в режиме реального времени, беря за основу свой предыдущий опыт взаимодействия со средой.

Однако выполнение морских подводных операций зачастую требует не только применения единичных МРТС, но и их совместной работы вне зависимости от типа (классического или резидентного) используемой робототехники. Коллективное управление – одна из основных областей, где сейчас наблюдается наиболее интенсивное развитие и интеграция технологий искусственного интеллекта. К примеру, разработчики проекта TWINBOT, целью которого является создание нового типа интервенционного АНПА (I-AUV), способного функционировать автономно и совместно, предлагают использовать группу из двух I-AUV Girona 500 [27–30], оснащенных электрическими манипуляторами для выполнения автономной задачи по транспортировке, сборке и укладке подводной трубы длиной 2 метра.

Еще один амбициозный проект по групповому применению МРТС в 2023 году представила компания Saildrone, заключившая партнерское соглашение с программой Seabed 2030 с целью составить полную карту Мирового океана. Saildrone уже использует искусственный интеллект и технологии Nvidia для мониторинга мировых океанов и погоды [35]. Потоки данных обрабатываются с помощью модулей Nvidia Jetson для искусственного интеллекта (ИИ) и оптимизируются в прототипах с помощью комплекта разработки программного обеспечения Nvidia DeepStream для интеллектуальной видеоаналитики.

Технология сбора морских данных, созданная Saildrone, позволила вблизи отследить ураганы в Северной Атлантике, обнаружить подводную гору высотой 3200 футов в Тихом океане и начать картографировать определенные

участки поверхности дна Мирового океана. Программа Seabed 2030 – это результат сотрудничества фонда Nippon и программы Генеральной батиметрической карты океанов (GEBCO) с целью составить карту дна океанов по всему миру к 2030 году.

Представленные проекты демонстрируют направления развития искусственного интеллекта в морской робототехнике. Применение искусственного интеллекта возможно во всех основных внутренних модулях МРТС, начиная от системы технического зрения и заканчивая системой автоматического управления. Зарубежный опыт явно показывает, что ИИ имеет огромный потенциал и важное значение для разработчиков и эксплуатантов морской техники.

Отечественные разработки ИИ

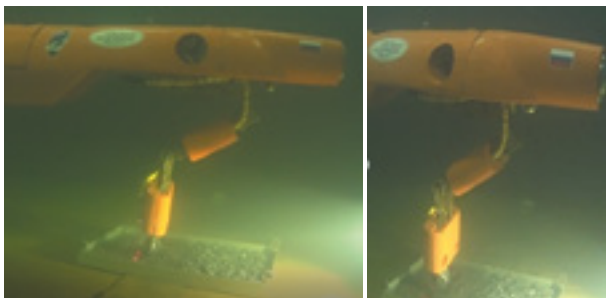
С учетом мировых тенденций и накопленного опыта в области морской резидентной техники специалисты АО «НПП ПТ «Океанос» на базе глайдерных технологий начали инициативную разработку и интеграцию технологий искусственного интеллекта в МРТС и МРТС собственного производства.

В 2016 году «Океанос» стал заниматься созданием автоматизированного подводного манипуляторного комплекса для НПА. В 2018-м наряду с мировыми лидерами развития резидентных технологий (таких как IKM Subsea & Technology, Oceaneering, Saab Seaeye и др.) АО «НПП ПТ «Океанос» разработало и испытало первый отечественный демонстратор технологии легкого интервенционного АНПА (ЛИ АНПА) [36–38].

Данный демонстратор обладает всем необходимым базовым функционалом, в том числе 5-ступенным автоматизированным манипуляторным комплексом, что позволяет ЛИ АНПА обеспечить как автоматизированную работу на макете рабочей панели ПДК с минимизацией участия опе-



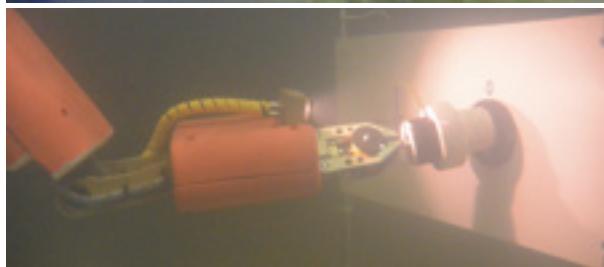
Отечественный демонстратор технологии легкого интервенционного АНПА (ЛИ АНПА) производства АО «НПП ПТ «Океанос»



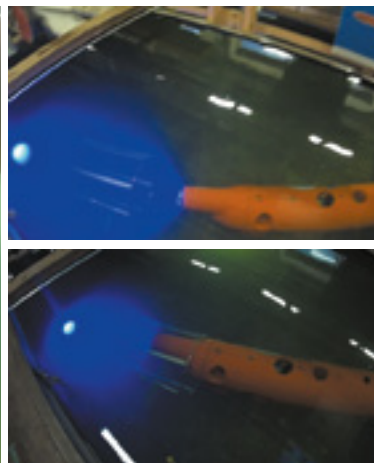
ЛИ АНПА в ходе выполнения задач по работе с макетом панели ПДК и пробоотбору грунта

ратора, так и автономный пробоотбор грунта, что было неоднократно успешно продемонстрировано представителям НТИ «Маринет», ПАО «Газпром», ВМФ РФ, ФГУП «КНГЦ», АО «СПМБМ «Малахит», МГТУ им. Н.Э. Баумана и многим другим на полунатурных испытаниях в условиях полигона морской робототехники СПбГМТУ, развернутого в экспериментальном бассейне СПбГМТУ, и опубликовано коллективом авторов в работах [39].

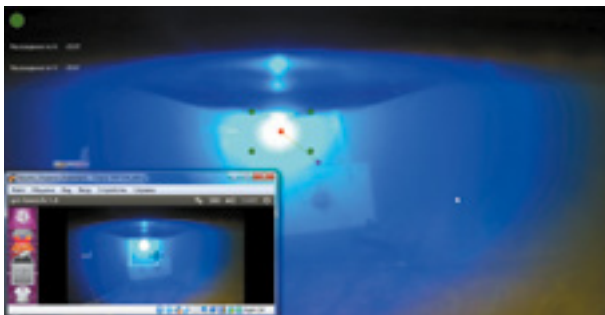
ЛИ АНПА является частью комплексной морской автономной интегрированной системы (МАИС), созданной АО «НПП ПТ «Океанос» и СПбГМТУ, в состав которой входят такие робототехнические системы, как автоматизированный подводный электрический манипуляторный комплекс, автономный необитаемый подводный аппарат глайдерного типа, волновой глайдер, демонстраторы БЭК однокорпусной и катамаранных схем, мини-ТНПА, демонстратор ЛИ АНПА и сопутствующие системы и технологии (к примеру, системы подводной беспроводной гидроакустической и оптической связи и навигации (позиционирования), системы интеллектуального группового управления МРТК из состава группы БЭК) [40].



ЛИ АНПА в процессе взаимодействия с макетом рабочей панели ПДК при передаче данных управления и видеопотока через модуль беспроводной оптической системы подводной связи



ЛИ АНПА в процессе докования при передаче данных управления и видеопотока через модуль беспроводной оптической системы подводной связи



Пример работы системы технического зрения ЛИ АНПА в процессе докования с учетом передачи данных управления и видеопотока через модуль беспроводной оптической системы подводной связи

При необходимости отечественная МАИС дополняется АНПА и ТНПА импортного производства, имеющимися в наличии в АО «НПП ПТ «Океанос».

В основу научной методологии АО «НПП ПТ «Океанос» положен метод математического моделирования работы изделия в реальных условиях с целью формирования базы данных физического взаимодействия изделия с реальной средой. Такой научно-эмпирический метод исследования позволяет разработчикам строить более точные конечные модели как конструкции изделия, так и систем автоматического управления (САУ) аппаратом для оптимизационного математического моделирования.

С 2014 года АО «НПП ПТ «Океанос» и СПбГМТУ накопили большой опыт в работе с отечественной компонентной базой. В период с 2014 по 2023 год в изделия МАИС были интегрированы отечественные компоненты инерциальных навигационных систем производства ООО «Гиролаб», НПП «ГИРОНАВ», «ПКК Миландр», Лаборатории микроприборов и др., отечественные одноплатные компьютеры (например, «Цинк-20» производства НПК «Атри») и твердотельные накопители (GS Nanotech), после чего эти изделия были протестированы. Было проведено тестирование отечественной системы подводной оптической связи (ООО «О2 Световые системы») и системы бездрожжикикового дистанционного

управления подводными манипуляторными комплексами (АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр»). Тесный контакт с отечественными производителями компонентной базы (в каких-то моментах – в качестве бета-тестировщиков) в указанный период позволил провести тщательный анализ и последующий отбор подходящей компонентной базы, способной обеспечить необходимое качество и надежность при эксплуатации в составе МАИС, в том числе в резидентных системах.



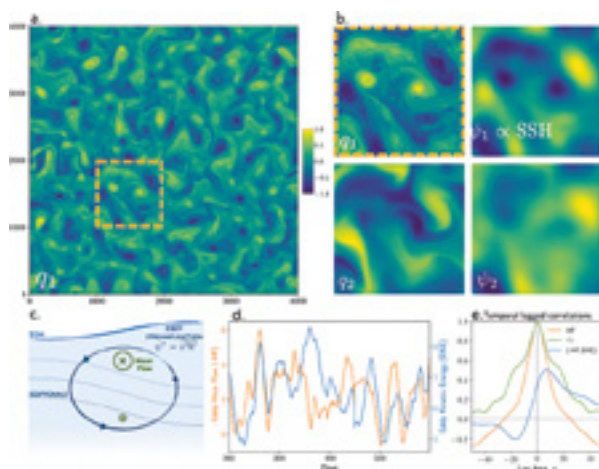
Последние технологические разработки позволяют создавать подводные роботы повышенной автономности, признанные всей морской индустрией как новая парадигма в оказании услуг.

Имеющийся в МАИС задел АО «НПП ПТ «Океанос» и СПбГМТУ позволяет развивать высокотехнологичную концепцию многофункциональной сетевидной системы подводных обсерваторий, состоящей из гетерогенных МРТК, донных элементов подводной инфраструктуры, таких как адаптированные ПДК, донные станции базирования резидентных МРТК, океанологические буи и иные РТК, объединенные в единую систему, с возможностью контроля с удаленного пункта управления. Именно такие разработки нужны для обеспечения своевременного развития элементов отечественной морской робототехники, высокотехнологичного, экологичного и экономически выгодного исследования новых месторождений и обслуживания уже имеющихся.

Многофункциональные подводные инфраструктуры могут быть актуальны не только в нефтегазодобывающей отрасли, служащей локомотивом развития робототехнических технологий. Гетерогенные группы МРТК способны выполнять задачи по проведению круглогодичного мониторинга, пробоотбора, исследования и накопления океанологической, гидрологической и гидрохимической информации с целью составления прогностических моделей и выявления закономерностей изменения Мирового океана. **На сегодняшний**



Концепция высокотехнологичной многофункциональной сетцентрической подводной инфраструктуры



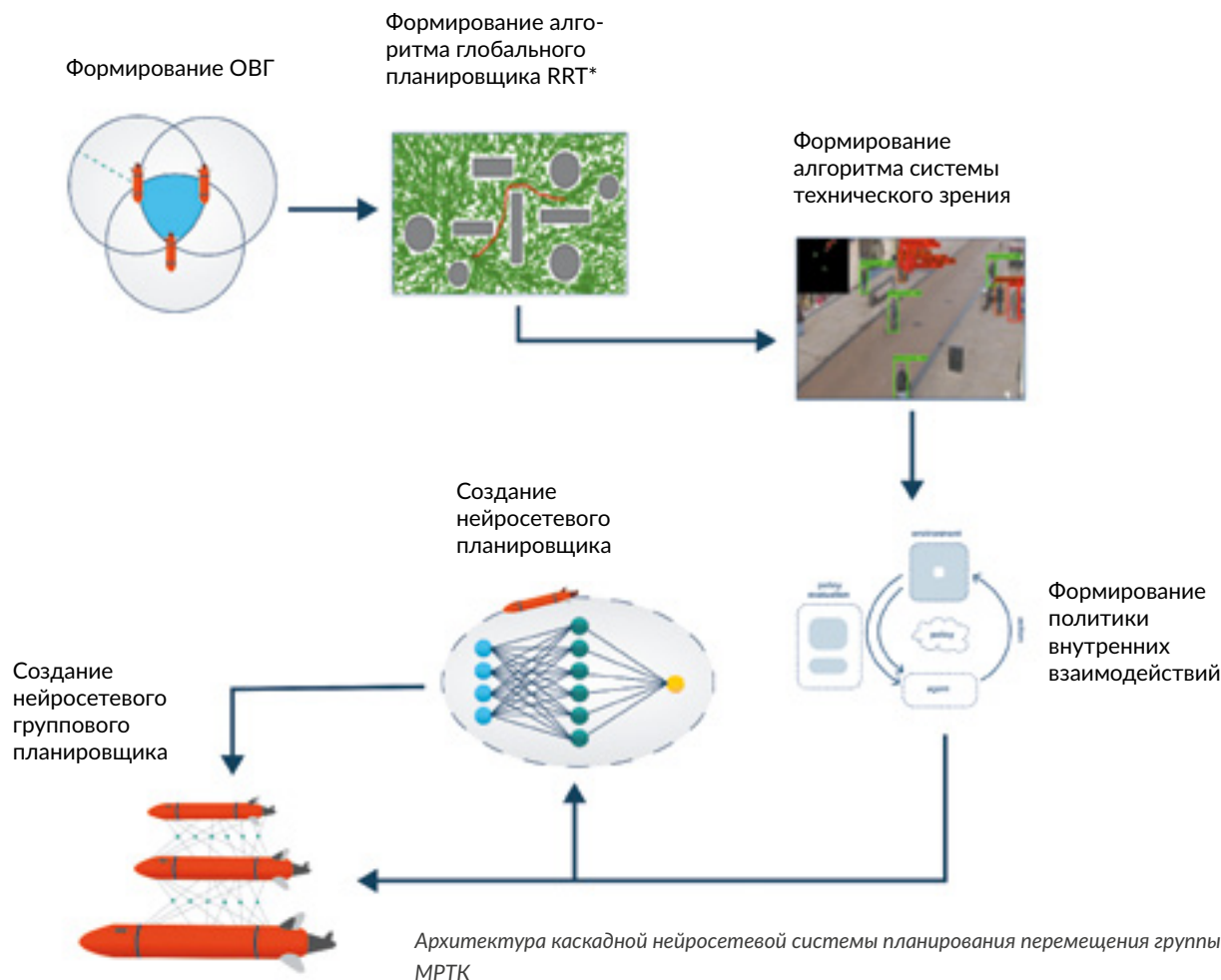
Пример применения технологий глубокого обучения для наблюдения за изменением состояния турбулентных тепловых потоков в субмезомасштабных размерностях [41]

день наблюдения за океаном ограниченны. Океан очень неоднороден. Это означает, что его параметры – тепло, распределение соли, питательные вещества и т.д. – зависят от пространства и времени, и такие нелинейные во времени зависимости можно изучить и проанализировать во многом благодаря организации постоянного круглогодичного многофункционального мониторинга.

Технологические достижения последних десятилетий попытались решить эту проблему путем разработки автономных платформ, таких как научно-исследовательские буйи или спутниковое зондирование, что позволяет наблюдать постоянные,

но крайне ограниченные изменения в океанографических данных. Подобные системы позволяют получать информацию с относительно небольших участков океана одновременно, их масштабирование до возможности получения данных в субмезомасштабных размерностях в режимах реального времени является чрезвычайно сложным проектом. Развитие ИИ и групповых систем МРТК является ключом к накоплению больших баз данных, которые способны заполнять пробелы между точечными наблюдениями и верифицировать данные дистанционного зондирования. Благодаря обработке баз данных методами ИИ можно выявить и провести оценку таких ненаблюдаемых величин, как турбулентные тепловые потоки субмезомасштабных размерностей [40].

Залогом успешного автономного функционирования гетерогенных групп МРТК в резидентной акватории является разработка интеллектуальных систем, способных обеспечить роботов собственным «разумом». Для долгосрочной работы в недетерминированных морских условиях традиционных алгоритмов управления и планирования будет недостаточно. Алгоритм – это, по сути, простой набор правил и последовательностей, он ограничен возможностями разработчиков. Уже сегодня необходимо, чтобы МРТС, в том числе в группе, могли самостоятельно решать, какие задачи выполнять, что необходимо предпринять для их решения, как организовать слаженную групповую работу и каким образом нужно распределиться в акватории для оптимального выполнения миссии. Такой высокий уровень интеллектуализации может быть достигнут путем интегрирования глубоких нейронных сетей и методов машинного обучения в модули систем технического зрения, океанологической сенсорики и планирования.



Новаторским способом применения нейронных систем является использование каскадного подхода построения архитектуры, позволяющего объединить в себе комплекс из нескольких нейронных сетей, отвечающих за системы технического зрения, бортовые океанологические сенсоры, логику взаимодействия агентов в группе и логику принятия решений при перемещении группы в неопределенной среде с препятствиями (эти подходы еще называют нейросетевым ансамблем). Специалисты АО «НПП ПТ «Океанос» использовали такие методы для планирования действий группы МРТС. Реализованные алгоритмы были успешно апробированы в ходе натурных испытаний, проводившихся в 2022–2023 годах.

Для интеллектуализации работы системы технического зрения был разработан натурный робототехнический стенд, включающий в себя конструкцию подводного манипулятора на имитаторе НПА, макет рабочей панели ПДК и макеты рабочих инструментов (таких как HotStub и Torque Tool).

На конструкции подводного манипулятора был установлен модуль камеры Astra Pro Realsense RGBD Depth (или Intel Realsense, в зависимости от конфигурации), получающий изображение в формате RGB и пространственного облака точек (карты глубины).

Интеллектуальная система управления манипулятора должна определять класс объектов управления на рабочей панели ПДК и в автономном режиме действовать при помощи макетов реальных инструментов.

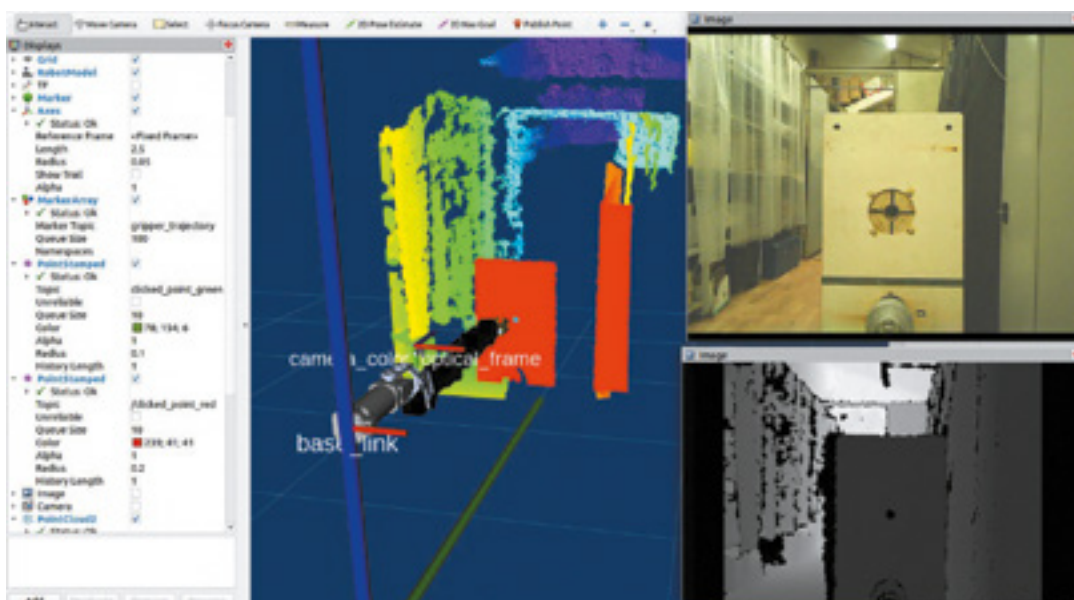
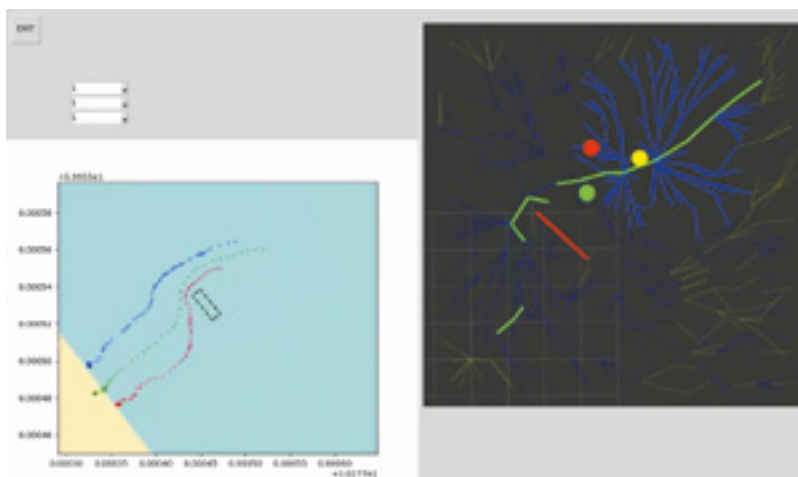
Для обучения была собрана база данных, включающая в себя более 13 тыс. изображений. Результатом обучения нейронной сети является автоматическая детекция (классификация) объекта управления на рабочей панели, дистанция до объекта и его состояние (к примеру, open или close) без использования машиночитаемых знаков, что крайне важно при работе на реальных ПДК, которые однозначно подвергнутся обрастанию и загрязнению в процессе эксплуатации, что сделает невозможным обнаружение машиночитаемого знака.

Система успешно определяет не только класс объекта управления на рабочей панели ПДК, но и его состояние, что позволяет в комплексе с САУ манипулятора и НПА обеспечить полноценное интеллектуальное взаимодействие и выполнение поставленных задач.

Дальнейшими этапами работ являются плановое усложнение стенда панели ПДК за счет увеличения количества органов управления, добавления обратной связи (индикационных датчиков, индикаторов давления) с целью расширения функционала интеллектуального модуля СТЗ,



Результаты перемещения группы БЭК
(в процессе обхода статического препятствия)



Пример работы системы технического зрения, установленной на подводном манипуляторе производства АО «НПП ПТ «Океанос»



Процесс отладки сопряженного функционирования манипуляторного комплекса и системы технического зрения для автономного выполнения работ с макетом панели ПДК

увеличение степени подвижности комплекса «манипуляторный комплекс – АНПА» путем введения дополнительных степеней свободы, имитирующих движения АНПА, причем с погружением станда панели ПДК и манипуляторного комплекса в водную среду с фактическими условиями переменной освещенности, прозрачности и переменного течения. Данные усовершенствования будут проводиться в комплексной системе управления стандом с учетом ранее полученных результатов натурных экспериментов отработки манипуляторного комплекса и ЛИ АНПА в целом в период 2017–2019 годов, а также результатов математического моделирования периода 2020–2023 годов (натурные эксперименты в данный период были ограничены инициативным

характером выполняемых НИР и задействованием основных производственных мощностей на обеспечение выполнения плановых НИР по линии ГОЗ).

Заключение

С течением времени темпы развития ИИ будут только расти. Очевидно, что в морской робототехнике актуальность интегрирования ИИ в состав бортовых систем не вызывает сомнений. В своих рекламных информационных материалах один из лидеров резидентной подводной робототехники компания Saab Seaeye (Великобритания) пока тоже обещает: «Добавление наших передовых систем восприятия

1. <https://trends.rbc.ru/trends/industry/65a0db4a9a79475f37f5c8a4?from=copy>.
2. <https://riamo.ru/article/634987/pochemu-mirovoj-ocean-tak-malo-izuchen-mnenie-oceanologa?ysclid=lu8swwu2yb585079745>.
3. <https://rg.ru/2020/07/28/issledovaniia-mirovogo-okeana-kak-shag-na-puti-k-razvitiu-chelovechestva.html>.
4. <https://scientificrussia.ru/articles/zagadki-okeanskikh-glubin-beseda-s-vitse-prezidentom-ran-andreem-adrianovym>.
5. <https://www.offshore-mag.com/subsea/article/16757224/resident-auv-system-with-subsea-dock-in-development>.
6. T. Matsuda, T. Maki, K. Masuda, T. Sakamaki. Resident autonomous underwater vehicle: Underwater system for prolonged and continuous monitoring based at a seafloor station // Robotics and Autonomous Systems, Volume 120, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.07.001>.
7. RU-NO Barents Project, Pipelines and Subsea Installations-Report, 6. June 2014, www.intsok.com.
8. В.Ю. Занин, А.М. Маевский, И.В. Кожемякин. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт // Морские информационно-управляющие системы, № 1 (17), 2020.
9. S. Zhuoyuan, M. Aaron, M. Dana. Resident Subsea Robotic Systems: A Review // Marine Technology Society Journal, № 54, 2020. P. 21–31. 10.4031/MTSJ.54.5.4.
10. <https://www.equinor.com/news/archive/hendelse-snorre-b>.
11. <https://www.sonardyne.com/rov-in-residence>.
12. <https://www.sonardyne.com/rov-in-residence>.
13. J. Albiez et al. FlatFish. A compact subsea-resident inspection AUV // Oceans 2015 – MTS/IEEE. Washington, DC, USA, 2015. P. 1–8, doi: 10.23919/OCEANS.2015.7404442.
14. IKM to provide newbuild ROVs for Equinor intervention program | Offshore (offshore-mag.com). <https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/case-study-deepwater-autonomous-seismic-data-gathering>.
15. <https://www.sonardyne.com/case-studies/autonomous-seismic-data-gathering>.
16. https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/import/12587_cuttlefish-system.pdf.
17. L. Cuttlefish Christensen, J. Hilljegerdes, M. Zipper, A. Kolesnikov, B. Hülsen, C.E.S. Koch, M. Hildebrandt, L.C. Danter. The Hydrobatic Dual-Arm Intervention AUV // Oceans 22 Hampton Roads, 17.10–20.10.2022, Hampton Roads, VA, IEEE, P. 1–8, Oct. 2022. MTS / IEEE OES.
18. L.C. Danter, S. Planthaber, A. Dettmann, W. Brinkmann, F. Kirchner. Lightweight and Framework-Independent Communication Library to Support Cross-Platform Robotic Applications and High-Latency Connections // 15th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (i-SAIRAS '20), (i-SAIRAS), 19.10–23.10.2020, Online-Conference, o.A., Oct.2020.
19. https://www.youtube.com/watch?v=-NcroB_OaW4&ab_channel=GermanResearchCenterforArtificialIntelligence.
20. <https://www.dfki.de/en/web/news/autonome-unterwasser-wartung-projektverbund-praesentiert-leistungsstarke-it-infrastruktur-fuer-zukunftsweisendes-zweiarm-auv>.
21. B. Wehbe, M. Hildebrandt, F. Kirchner. A Framework for On-line Learning of Underwater Vehicles Dynamic Models // International Conference on Robotics and Automation, (ICRA-2019), 20.05–24.05.2019, Montréal, Québec, IEEE, 2019. IEEE Robotics and Automation Society.

(систем технического зрения. – Авт.) приведет к сочетанию контролируемых и полностью автономных манипуляций. Эти **будущие варианты управления** (выделение авт.) будут обратно совместимы и доступны в качестве обновлений существующих манипуляторов» [42], что еще раз говорит о том, что мы на правильном пути.

Внедрение ИИ в морскую робототехнику может значительно улучшить эффективность операций на море, уменьшить риски для человеческого здоровья и жизни, а также способствовать сохранению морских экосистем и биоразнообразия. Кроме того, развитие автономных морских роботов с искусственным интеллектом должно улучшить мониторинг и защиту морских ресурсов, а так-

же обеспечить эффективное решение различных задач, связанных с морскими исследованиями и эксплуатацией морских ресурсов.

Таким образом, развитие морской робототехники и искусственного интеллекта является крайне важным для достижения новых научных, экологических и экономических целей и требует продолжения исследований и инвестиций в эту область. Необходимо продолжать развивать новые технологии и методы, которые позволят углубить наши знания о Мировом океане и получить более точную оценку качества и масштабов его ресурсов, а также обеспечить суверенное устойчивое использование морских пространств в интересах будущих поколений россиян. ■

ЛИТЕРАТУРА

22. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/boxfish-robotics/arv-i-autonomous-underwater-vehicle>.
23. <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/6/1119>.
24. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/boxfish-robotics/arv-i-autonomous-underwater-vehicle>.
25. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/boxfish-robotics/arv-i-autonomous-underwater-vehicle>.
26. <https://vicolob.udg.edu/twin-robots-for-cooperative-underwater-intervention-missions>.
27. <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/10/1673>.
28. https://www.researchgate.net/publication/347795415_A_robust_non-linear_MPC_framework_for_control_of_underwater_vehicle_manipulator_systems_under_high-level_tasks.
29. https://www.researchgate.net/publication/265421748_I-AUV_Docking_and_Intervention_in_a_Subsea_Panel.
30. <https://vicolob.udg.edu/twin-robots-for-cooperative-underwater-intervention-missions>.
31. <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/10/1673>.
32. https://www.researchgate.net/publication/347795415_A_robust_non-linear_MPC_framework_for_control_of_underwater_vehicle_manipulator_systems_under_high-level_tasks.
33. https://www.researchgate.net/publication/265421748_I-AUV_Docking_and_Intervention_in_a_Subsea_Panel.
34. <https://www.sdxcentral.com/articles/saildrone-uses-ai-and-nvidia-to-monitor-worlds-oceans-and-weather/2023/07>.
35. В.Ю. Занин, А.М. Маевский 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 – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп», 2019. С. 13–22.
36. А.М. Маевский и др. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах // Перспективные системы и задачи управления: 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. 481 с.
37. А.М. Маевский, Б.А. Гайкович. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов // Вести газовой науки, № 2 (39), 2019. С. 29–40.
38. А.М. Маевский, В.Ю. Занин, И.В. Кожемякин. Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным АНПА на основании поведенческих методов // Известия ЮФУ. Технические науки. № 1 (211), 2020.
39. А.М. Маевский. 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, Севастополь, 22–26.04.2019. С. 20–35.
40. T. George, G. Manucharyan, A. Thompson. Deep learning to infer eddy heat fluxes from sea surface height patterns of mesoscale turbulence // Nature Communications. 2021. 12. 800. 10.1038/s41467-020-20779-9.
41. https://www.saabseae.com/uploads/em1-7_brochure-rev3.pdf.