



ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ: МИРОВОЙ УРОВЕНЬ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ В РФ

АО «НПП ПТ «Океанос»¹
Санкт-Петербург



Южный
федеральный университет²
Ростов-на-Дону



Санкт-Петербургский
государственный морской
технический университет³
Санкт-Петербург



Системы искусственного интеллекта (ИИ) находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, обработки и анализа данных, функционирования сложных робототехнических комплексов (РТК). Интенсивное расширение областей применения РТК (включая подводную робототехнику) и возрастающая сложность стоящих перед ними задач способствуют ускорению создания новых технологий. В частности, ведутся разработки технологий, базирующихся на применении интеллектуальных систем (ИС), которые способны управлять автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА) – их навигацией в морском пространстве, формированием логики поведения в неизвестных средах и планированием движения, – а также оптимизировать обработку полученных данных полезной нагрузки АНПА.

А.М. Маевский^{1,2}, И.В. Кожемякин³

Термин «искусственный интеллект» используется прежде всего для обозначения приложений, предназначенных для решения сложных задач, которые раньше могли выполнять только люди. В основе искусственного интеллекта лежат технологии машинного обучения, которые распознают шаблоны в данных и формируют прогнозы. Ввиду именно этой особенности ИИ является промежуточным звеном или зачастую находится на стыке нескольких технологий, что позволяет увеличивать потенциал используемой системы и более эффективно достигать наилучших результатов. Системы искусственного интеллекта имеют широкий спектр применения. В данной работе рассматривается конвергенция технологий ИИ и морского робототехнического комплекса (МРТК) (рис. 1).

Морская робототехника – одно из самых интенсивно развивающихся направлений в мире. Этому способствуют следующие факторы:

- недостаточное количество исследований по изучению Мирового океана, в том числе в области оперативной океанографии и экологии;
- потребность в выполнении глубоководных работ в нефтегазовой сфере;
- необходимость обеспечения снижения «углеродного следа» за счет цифровизации морских операций.

Важность развития данной технологической отрасли находит свое отражение в ряде нормативно-правовых документов, направленных на формирование целей и регулирование сферы робототехники и искусственного интеллекта, среди которых:

- Распоряжение Правительства РФ от 30 августа 2019 г. № 1930-р «Стратегия развития морской деятельности РФ до 2030 года», где указывается на «недостаточное развитие российских океанографических автоматических и автономных средств измерений – дрейфующих буйев различного назначения, 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»;
- Указ Президента РФ от 5 марта 2020 г. № 164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», где описывается необходимость совершенствования «системы комплексного контроля за воздушной, надводной и подводной обстановкой в Арктической зоне Российской Федерации»;

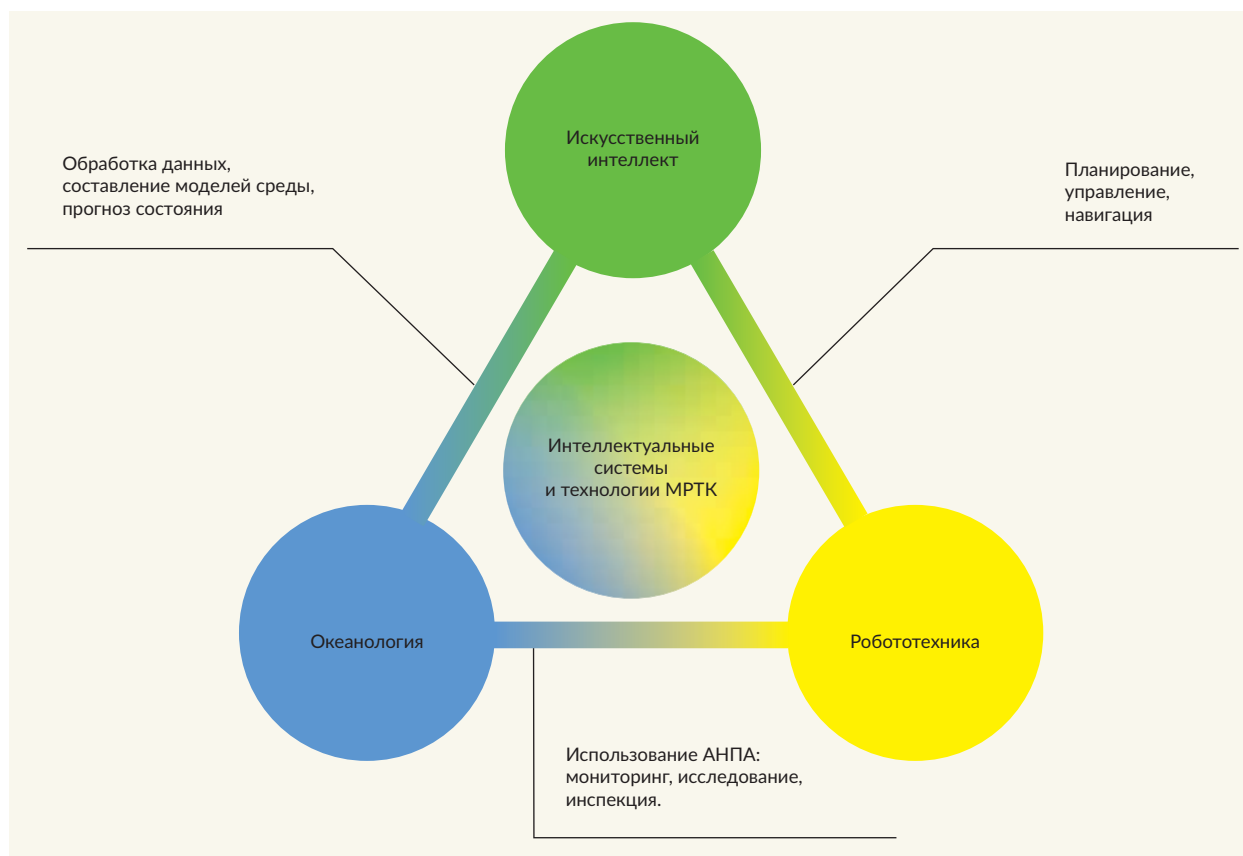


Рис. 1. Интеллектуальные системы и технологии МРТК

- Национальная стратегия развития искусственного интеллекта в РФ до 2030 года, Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

В названных указах и распоряжениях определены сферы деятельности и системы, в которых будут востребованы МРТК [1–5], а именно:

- патрулирование и мониторинг морских акваторий;
- исследование и освоение океанологических ресурсов государственных акваторий, сохранение минеральных и энергетических ресурсов Мирового океана;
- системы контроля за морским и речным транспортом;
- научные исследования;
- поисково-спасательные операции.

Выполнение тех или иных работ с помощью АНПА несет в себе высокий технологический потенциал. Во многих существующих сегодня аппаратах этого типа реализованы различные уровни автоматизации и автономности. Однако в основном управление АНПА осуществляется либо при помощи заложенных в них жестких программ, либо на основе адаптивных систем управления (СУ), которые спо-

собны реагировать на случайные изменения со стороны окружающей среды, а также в рамках заранее проработанных моделей и пресетов.



Для развития сфер и возможностей применения АНПА необходима интеллектуализация внутренних систем и технологий, а также соответствующих сопутствующих технологий, способных обеспечить взаимодействие АНПА с внешним миром и другими аппаратами.

Все это сложные задачи, которые сегодня стоят перед разработчиками интеллектуальных систем. Зависимость сложности реализации от степени интеллектуализации показана на рисунке 2.

Для применения АНПА – одиночного и группы – в указанных направлениях предполагается развитие технологий, интегрированных в аппараты. Технологический потенциал функциональности одиночного АНПА растет из года в год. На это нацелены интенсивные разработки в области подводной резидентной робототехники по гибридизации существующих АНПА и созданию «интервен-



Рис. 2. Этапы технологического развития интеллектуальных систем МРТК

ционных» аппаратов, формированию гетерогенных групп АНПА и повышению эффективности и автономности морских робототехнических комплексов. Такие комплексы должны быть способны функционировать в «экстремальной среде» [6,7] и в течение долгого времени выполнять поставленную задачу в условиях постоянного влияния динамически изменяющейся недетерминированной среды. Для обеспечения полноценной автономной работы МРТК необходима разработка высокоинтеллектуальных бортовых систем, способных формировать и контролировать выполнение внутренних команд МРТК, а также обеспечивать высокий уровень качества управления с учетом всех неопределенностей, воздействующих на систему.



В этом случае ИИ используется в качестве «мозга» робота, который «позволяет реализовать такие присущие человеческому поведению функции, как адаптация к неопределенной среде, возможность оценивать и моделировать текущее состояние, выполнять функции целеполагания и планирования действий» [8–11].

Основная отличительная особенность функционирования интеллектуального АНПА заключается в том, что последовательность действий, необходимых для достижения цели, не определена заранее, поскольку информация о будущих состояниях среды, как правило, априори недоступна. Таким образом, перед АНПА возникает проблема выбора действий в текущей ситуации, направленных на достижение поставленной перед ним цели. Причем этот выбор должен быть сделан на основе информации о текущей ситуации и накопленных ранее данных о среде. Способность к оперативному выбору, то есть планированию целенаправленного поведения в не полностью определенной ситуации, является главной чертой, отличающей интеллектуального робота от других подобных систем. Именно поэтому система, обеспечивающая решение задачи планирования действий, является одной из необходимых систем в управлении АНПА.

Интеллектуализация системы автономных необитаемых подводных аппаратов также подразумевает «интеллектуальную» обработку данных, получаемых с внутренних модулей, таких как полезная нагрузка, модуль связи и навигации и т.п.

Все это в совокупности образует собственную базу знаний АНПА, на основании которой ИИ может принимать те или иные решения. В качестве таких знаний

в случае, например, измерения некоторого параметра морской среды выступают результаты измерений, которые определенным образом обрабатываются, а затем на их основе принимается решение о дальнейших действиях АНПА.

Зарубежные исследования и проекты

Сегодня системы ИИ, как правило, реализуются в части обработки данных, получаемых на борт АНПА. Примером тому являются результаты измерений, полученные в экспедиции по составлению общей трехмерной карты дна хребта Hydratev районе г. Астория на побережье штата Орегон, США [12, 13]. Работы проводились с использованием исследовательского судна Falkor и АНПА AE2000f (рис. 3), работающего на глубине от 680 до 780 метров. Аппарат сформировал базу из 1,3 млн изображений, после чего система ИИ не только успешно построила карту поверхности дна, но и обнаружила точки выхода метана из грунта, которые впоследствии были учтены при проведении работ по пробоотбору фракций грунта. Использование ИИ в реальном времени позволило уменьшить время работы экспедиции – обычно обработка подобных массивов данных занимает несколько месяцев, а исследователи получают результаты по завершении экспедиции. В данном случае карта с выделенными районами была получена через несколько дней (рис. 4 и 5).

Также известны многочисленные работы китайских ученых, связанные с применением систем ИИ в сфере подводного мониторинга. К примеру, проект «Великая китайская подводная стена» [14,15], сочетающий в себе систему интеллектуального группового управления разнородными АНПА постоянного морского базирования (резидентные



Рис. 3. АНПА AE2000f перед началом миссии

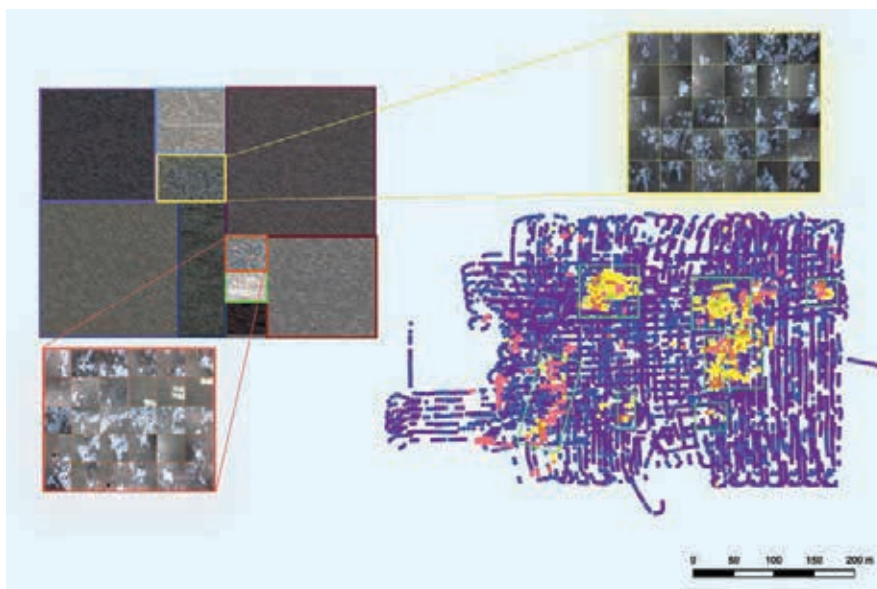


Рис. 4. Карта районов локализации выхода метана

технологии) со стационарными системами на искусственных островах, которые Китай строит последние годы. В данном проекте ясно прослеживается общая концепция построения единой инфраструктуры для подводного мониторинга и контроля Южно-Китайского моря (рис. 6, 7, 8).

Параллельно с этим в Китае набирают обороты исследования в области создания АНПА двойного назначения [16]. В частности, по заявлениям разработчиков аппарат Sea-Whale 2000 (рис. 9) оснащен системой ИИ, позволяющей оптимизировать энергопотребление АНПА и его систем автоматического управления (САУ) для достижения еще большей автономности. Результаты испытаний показали, что АНПА способен преодолевать расстояние в 2000 км и выполнять автономную работу в течение 37 дней. Вес такого аппарата составляет около 200 кг, а максимальная глубина погружения не превышает 1,5 км. Разработчики сообщают, что АНПА уже поставлен на вооружение ВМС Китая.

В свою очередь, в США продолжается интенсивная проработка возможностей применения искусственного интеллекта в области морской робототехники. В бюджетном запросе Пентагона на 2020 год упоминается [17], что потенциальные противники просят о значительном увеличении финансирования программ автономного оружия. Запросы включают в себя десятикратное увеличение расходов ВМФ на крупные беспилотные надводные корабли

и более чем на 50 процентов – на разработку армейской подводной робототехники. Общая сумма запросов на беспилотные системы в сервисах составляет 3,7 млрд долларов, плюс еще 900 млн долларов на внедрение систем ИИ.

Можно сказать, что сегодня большая часть АНПА все же больше основана на механических и электронных технологиях, которые контролируются адаптивными регуляторными САУ, но очевидно, что для вывода возможностей применения АНПА на новый уровень необходимо внедрение систем искусственного интеллекта.

Для развития технологии ИИ в морских робототехнических

комплексах в целях разработки сверхбольших беспилотных подводных транспортных средств (XLUUV) ВМС США уже заключили контракты с такими компаниями, как Boeing Defense, Space & Security и Lockheed Martin Rotary and Mission Systems. К примеру, в феврале 2019 года ВМС заключили с Boeing контракт стоимостью 274,4 млн долларов на строительство четырех (позже число увеличили до пяти) Orca XLUUV [18] (рис. 10) на базе своего дизель-электрического подводного аппарата Echo Voyager. 51-футовая Orca имеет дальность действия 6500 морских миль и благодаря внутренней системе ИИ сможет выполнять несколько боевых задач, в том числе проведение противолодочной подводной и надводной разведки.

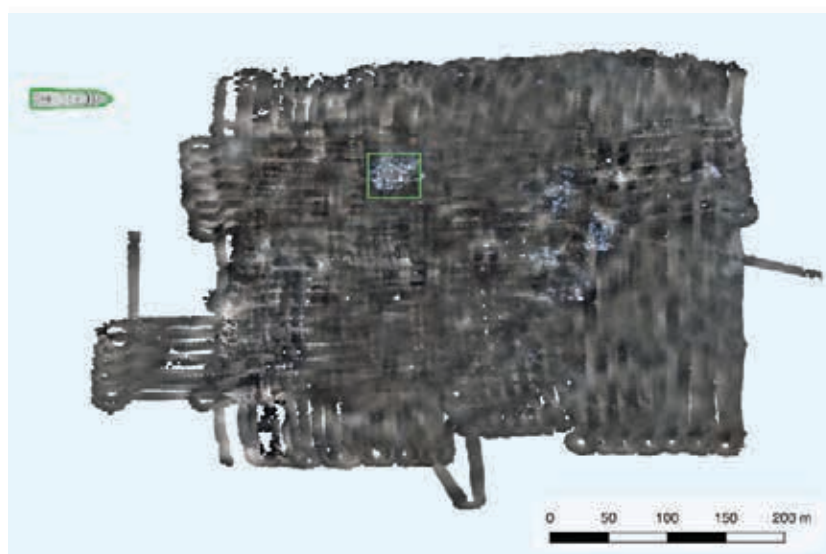


Рис. 5. Одна из карт, построенная по результатам миссий АНПА AE2000f

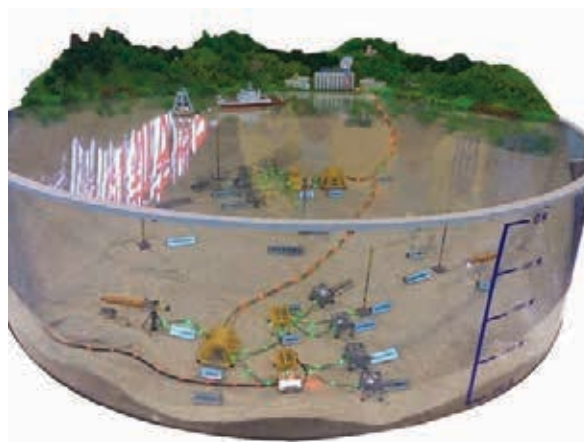


Рис. 6. Фотографии модели проекта «Великая китайская подводная стена», представленной на оборонной выставке Китая 2016 года, на которой демонстрируется групповое взаимодействие между МРТК и их резидентное базирование в подводных доковых станциях (изображение взято с ArmyStar.com)



Рис. 7. Снимок со спутника, полученный DigitalGlobe, на котором показан искусственный остров на рифе Суби в Южно-Китайском море, входящий в группу островов Спратли. 28 мая 2018 года (изображение взято с DigitalGlobe/GettyImages)

Одновременно с этим Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) реализует более 20 программ, направленных на продвижение использования технологий ИИ в морской робототехнике.

Агентство DARPA заключило шесть контрактов на работу над программой Angler [19] («Морской черт», или «Рыболов»), целью которой является создание нового поколения автономных подводных роботизированных систем, способных перемещаться на большие расстояния и физически манипулировать объектами на морском дне без связи или вмешательства человека. Angler – роботизированная система, использующая ИИ для автономной навигации и исследования морского дна. В дополнение к этому робот должен автономно выполнять задачи поиска и манипуляции даже в темных, турбулентных и полупрозрачных морских условиях. Концепция работы аппарата представлена на рисунке 11.



Рис. 8. Разработка искусственного острова на рифе Fiery Cross, расположенного в Южно-Китайском море. Спутниковые снимки DigitalGlobe от 3 сентября 2015 года и 15 августа 2018 года (изображение взято с DigitalGlobe/Getty Images)

Другим вектором развития искусственного интеллекта являются многоагентные системы [19,20], в которых решаются задачи скоординированного движения группы АНПА и их группового взаимодействия. Интеллектуальное групповое управление, планирование и перепланирование (реконфигурирование) групп МРТК, их автономная организация и целераспределение сегодня являются актуальными задачами.

Интеллектуализация морского робототехнического комплекса зачастую сводится к использованию биоинспирированных систем на основе роевого принципа,



Рис. 9. Прототип АНПА Sea-Whale 2000 в период испытаний 2019 года в Южно-Китайском море (изображение взято с сайта Академии наук Китая)



Рис. 10. Annaram Orca XLUV компании Boeing



Рис. 11. Художественная концепция проекта Artist's concept of Angler



Рис. 12. Фиксация группы АНПА SwarmDiver на грунте акватории (иллюстрация Aquabotix)

в котором аппараты взаимодействуют друг с другом. Примером такого взаимодействия является проект Aquabotix SwarmDiver [22]. Группа АНПА SwarmDiver может погружаться на глубину до 600 футов, работая синхронно с другими подводными аппаратами (рис. 12).

Созданные роевые алгоритмы (не только на примере компании Aquabotix) позволяют группам роботов «общаться» друг с другом, что, в свою очередь, приводит к принятию скоординированного решения. По информации Aquabotix, интеллектуальные системы управления и планирования SwarmDiver дают возможность АНПА быстро и точно самоорганизовываться в различные структуры роя, а также осуществлять одновременные маневры – например, погружения для сбора гидрометеорологических данных.

Примеры отечественных проектов: особенности и проблемы

Представленный анализ показывает, что сегодня применение систем искусственного интеллекта в морской робототехнике находится на этапе теоретических исследований и расчетов. Несмотря на это, имеются единичные проекты и программы, в которых ИИ в МРТК выполняет реальные практические задачи. В нашей стране ведутся многочисленные исследования ИИ, но основная часть теоретических и практических разработок осуществляется в сфере беспилотных летательных автономных аппаратов (БПЛА) [23–27]. При этом необходимо отметить, что как в морской робототехнике в целом, так и в части применения систем ИИ Россия существенно отстает от зарубежного уровня практической реализации и коммерциализации разработок в данной области.



Основной проблемой является недостаточное развитие отечественных электронных компонентов и технических средств нового поколения, которые необходимы для реализации подобных проектов.

АО НП ППТ «Океанос» и ФГБОУ ВО СПб ГМТУ ведут инициативные проекты по созданию элементов резидентной робототехники с учетом группового взаимодействия между объектами [28,29]. В проработке находится концепт использования гетерогенной робототехники, включающий в себя как надводную робототехнику, так и резидентные группы подводных глайдеров и АНПА [30–34], которые способны осуществлять не только постоянный подводный



Рис. 13. Натурные испытания движения группы БЭК из состава гетерогенных групп робототехники оперативной океанографии

мониторинг для решений задач в области оперативной океанологии, но и сервисные операции (рис. 13,14).

В заключение следует отметить, что подводный мир является самым сложным из-за множества допущений и ограничений, что делает использование искусственного интеллекта в той или иной форме обязательным. ■



Рис. 14. Концепт работы гетерогенных групп робототехники под управлением ИИ с сопряженной системой удаленного контроля и управления

1. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов // Вести газовой науки. – № 2 (39), 2019. – С. 29–40.
2. Методы экологических исследований: учебник / Под ред. канд. геогр. наук, доц. Н.Е. Рязановой. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 474 с.
3. Бардачевский Н.Н., Безсуднов Е.Ю. Состояние и перспективы применения необитаемых подводных аппаратов в области гидрографических исследований и подводной навигации // Интерэкспо Гео-Сибирь. – № 5 (2), 2013. – С. 124–128.
4. 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 подледных 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.
5. 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: ФГБУН МГИ. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный. – 2019. – С. 395–398.
6. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования месторождений углеводородов. – Сборник материалов 30-й международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», ЦНИИРПК, Санкт-Петербург, июнь 2019. – С. 217–219.
7. Маевский А.М., Занин В.Ю., Кожемякин И.В., Рыжов В.А. Разработка схем применения и систем управления гетерогенными группами морских роботов. – Сборник материалов 31-й международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», ЦНИИРПК, Санкт-Петербург, сентябрь 2020. – С. 171–173.
8. Белоглазов Д.А., Гузик В.Ф., Косенко Е.Ю. и др. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / Под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: Физматлит, 2014. – 300 с. – ISBN 978-5-9221-1595-7.
9. Интеллектуальные технологии планирования перемещений подвижных объектов в трехмерных недетерминированных средах / [Белоглазов Д. А., Гузик В. Ф., Медведев М. Ю. и др.] / Под ред. В. Х. Пшихопова. – М.: Наука, 2017. – 231 с.
10. Bruno Siciliano and Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics. –Springer, 2008.
11. Duan H., Qiao P. Pigeon-inspired optimization: A new swarm intelligence optimizer for air robot path planning // International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics. – 2014. – Vol. 7 (1). – P. 24–37.
12. <https://phys.org/news/2018-08-artificial-intelligence-rapid-data-driven-exploration.html>
13. <https://schmidtocan.org/artificial-intelligence-guides-rapid-data-driven-exploration/>
14. <https://www.livescience.com/55187-china-planning-underwater-great-wall-of-robots.html>
15. <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/plan-uon.htm>
16. <https://www.forbes.com/sites/hisutton/2020/08/05/china-builds-surveillance-network-in-international-waters-of-south-china-sea/?sh=36cd91ef74f3>
17. <https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/14068665/unmanned-underwater-vehicles-uuv-artificial-intelligence>
18. <https://nationalinterest.org/blog/buzz/us-navy-has-orca-robot-submarines-way-could-transform-naval-warfare-89721>
19. <https://www.darpa.mil/program/angler>
20. Машошин А.И., Скобелев П.О. (2016). Применение мультиагентных технологий для управления группой автономных необитаемых подводных аппаратов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – №1 (174), 2016. – С. 45–59.

21. Мартынова Л.А., Киселев Н.К., Мысливый А.А. Метод выбора архитектуры мультиагентной системы управления автономного необитаемого подводного аппарата // Информационно-управляющие системы. – №4, 2020. – С. 31–41. doi:10.31799/1684-8853-2020-4-31-41.
22. <https://www.aquabotix.com/>
23. Ефимов В.Г., Карпачев Ю.Н. Нейросетевое устройство контроля бортовых систем беспилотного летательного аппарата // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – №185, 2012. – С. 27–32.
24. Пшихопов В.Х., Чернухин Ю.В., Федотов А.А., Гузик В.Ф., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В., Пьявченко А.О., Сапрыкин Р.В., Переверзев В.А., Приемко А.А. Разработка интеллектуальной системы управления автономного подводного аппарата // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – №3 (152), 2014. – С. 87–101.
25. Горохова С.С. Искусственный интеллект в контексте обеспечения национальной безопасности. Национальная безопасность / nota bene (3). – С. 15–31.
26. Баранюк В.В., Миняило Д.В., Смирнова О.С. Планирование действий смешанных робототехнических группировок в условиях «балансирования на грани». International Journal of Open Information Technologies. – № 4 (12), 2016. – С. 16–20.
27. Гриценко А.Е., Слинин С.И., Рубинов В.И. Проблемные вопросы реализации искусственного интеллекта в комплексах с беспилотными летательными аппаратами // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – № 12, 2019. – С. 126–134.
28. Кабак И.С., Шептунов С.А., Соломенцев Ю.М., Суханова Н.В. Разработка архитектуры бортовой системы управления автономным исследовательским аппаратом с элементами искусственного интеллекта // Научное приборостроение. – № 27 (2), 2017. – С. 103–108.
29. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности. – Материалы 9-й научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления», 2014. – С. 211–218.
30. Волошин С.Б., Занин В.Ю., Маевский А.М. и др. 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. – Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа, 2020 года. – Москва, Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп», 2020. – С. 62–77.
31. 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.
32. Занин В.Ю., Кожемякин И.В., Потехин Ю.П., Путинцев И.А., Рыжов В.А., Семенов Н.Н., Чемоданов М.Н. Разработка автономных необитаемых подводных аппаратов класса микро с функцией группового управления // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – № 1, 2017. – С. 55–74.
33. Занин В.Ю., Маевский А.М., Кожемякин И.В. Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным АНПА на основании поведенческих методов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – № 1, 2020. – С. 119–133.
34. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах. – Сборник материалов 14-й Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные задачи управления». Домбай, апрель 2019. – С. 91–105.