

РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ/ROBOTS, MECHATRONICS AND ROBOTIC SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21>

ПРОБЛЕМЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Обзор

Джаныбеков Р.Ю.¹, Аббасов И.Б.^{2,*}²ORCID : 0000-0003-4805-8714;^{1,2} Южный федеральный университет, Таганрог, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (iftikhar_abbasov[at]mail.ru)

Аннотация

Работа посвящена анализу и определению проблемных вопросов в конструировании современных морских робототехнических комплексов. Для достижения данной цели отмечены некоторые исторические этапы развития, особенности конструирования современных морских робототехнических комплексов. В результате анализа была составлена таблица с характеристиками некоторых робототехнических комплексов разных стран производителей. Отмечены проблемы в разработке современных морских робототехнических комплексов, касающихся вопросов надежности, безопасности, управления, эффективности и производительности. В качестве будущих перспектив развития приведены факторы по использованию новых материалов и технологий производства, созданию систем автономной навигации с гибридной системой энергообеспечения. Данные морские комплексы могут найти применение в исследованиях прибрежной акватории, оценки экологического состояния и проведения спасательных операций.

Ключевые слова: морской робототехнический комплекс, прибрежная акватория, управляемые и автономные аппараты, беспилотные подводные и надводные аппараты, исследование морской среды.

PROBLEMS IN THE DESIGN OF MARINE ROBOTIC SYSTEMS

Review article

Dzhanibekov R.Y.¹, Abbasov I.B.^{2,*}²ORCID : 0000-0003-4805-8714;^{1,2} Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation

* Corresponding author (iftikhar_abbasov[at]mail.ru)

Abstract

The work is dedicated to the analysis and definition of problematic issues in the design of modern marine robotic complexes. To achieve this objective, some historical stages of development, features of design of modern marine robotic complexes are highlighted. As a result of the analysis, a table with the characteristics of some robotic complexes of different countries of manufacturers has been drawn up. The problems in the development of modern marine robotic complexes concerning the issues of reliability, safety, control, efficiency and performance are noted. As future prospects of development are given, factors on the use of new materials and production technologies, creation of autonomous navigation systems with hybrid power supply system. These marine complexes may find application in coastal water area research, environmental assessment and rescue operations.

Keywords: marine robotic complex, coastal water area, controlled and autonomous vehicles, unmanned underwater and surface vehicles, marine environment research.

Введение

В последнее время морские робототехнические комплексы (РТК) стали неотъемлемой частью морской инфраструктуры и широко применяются в различных отраслях: исследование морской среды, обеспечение безопасности на море, выполнение строительных и монтажных работ. Конструкция морских РТК играет важную роль в обеспечении функциональности, эффективности и безопасности при выполнении задач в морской среде.

Сегодняшние непростые социально-политические условия подчеркивают важность применения морских РТК, как показывает опыт проведения современных военных операций на море, эти комплексы являются достаточно экономичными и эффективными для достижения поставленной цели. Поэтому обзор современного состояния развития зарубежных и отечественных морских РТК может быть в полезной для анализа, оценки и будущих перспектив развития данных систем, в том числе для целей обороны.

Целью данной работы является обзор существующих проблем проектирования современных морских робототехнических комплексов для выполнения морских исследовательских и специальных задач. В качестве материалов были использованы современные публикации в научных журналах, также электронные ресурсы, посвященные разработке морских робототехнических систем. Обработка исходной информации была осуществлена методами сбора, анализа, сравнения и синтеза. В результате анализа была составлена структурированная графическая информация о характеристиках, производителях исследуемых морских систем, отмечены будущие перспективы их применения.

История развития морских робототехнических комплексов

История развития морских робототехнических комплексов насчитывает несколько десятилетий. Первые РТК были созданы в 1960-х годах для исследования морской среды и осуществления подводных работ [1]. Они представляли собой простые устройства, состоящие из плавучих корпусов с управляемыми двигателями, датчиками и камерами для сбора информации, позволяя произвести некоторые измерения расстояний и высот на море, и в воздухе (рис.1).



Рисунок 1 - Первые морские РТК 60-х годов [1]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.1>

В 1970-х годах появилась технология, позволяющая создавать более сложные и маневренные РТК, оборудованные сенсорами и системами управления. Они стали использоваться для различных задач, таких как обследование дна моря, поиск и спасение, а также мониторинг морской среды [1], [2].

Примером надводного РТК на этом этапе развития можно считать устройства, созданные в 1960-х годах, такие как устройства исследования морской среды Alvin и Jason (США) [1], [3]. Они были оснащены датчиками и камерами, для сбора информации и управляемыми двигателями. В 1970-х годах появились устройства для обследования дна моря, такие как Деер Дрон [1]. Они использовались для исследования морской среды, поиска и спасения, а также мониторинга морской среды (рис. 2).



Рисунок 2 - Глубоководный беспилотный аппарат «Deep Drone» [1]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.2>

В 1990-х годах с развитием компьютерных технологий появились более сложные автономные комплексы [4], [5] которые могли выполнять задачи без участия человека. Они были оснащены высокоточными датчиками и системами управления, позволяющими совершать различные маневры и выполнять сложные задачи (рис. 3).

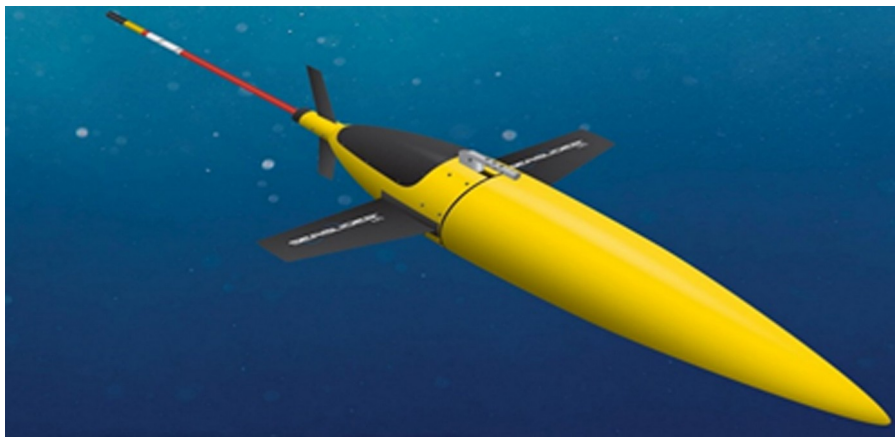


Рисунок 3 - Глубоководный автономный подводный аппарат (AUV) «Seaglider» (Морской планер), антенна связи и отсек с полезной нагрузкой располагается в кормовой части, защитный обтекатель ограничивает носовую часть [4]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.3>

Примером надводных РТК в настоящее время могут служить такие устройства, как Bluefin-21 (Bluefin Robotics, США), которые используются для исследования морской среды, обеспечения безопасности на море и защиты окружающей среды [4] (рис. 4). Они оснащены самонаводящимися системами и высокоточными датчиками.



Рисунок 4 - «Bluefin-21» на борту судна Ocean Shield во время операции по поиску обломков самолета [4]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.4>

Конструкция морских робототехнических комплексов

Конструкция морских робототехнических комплексов является одним из важных аспектов их разработки. Морские РТК используются для различных задач, включая исследование морской среды, обеспечение безопасности при морских операциях, а также для коммерческих целей, таких как добыча рыбы и других морских ресурсов.

Одним из основных элементов конструкции РТК является корпус. Он обеспечивает необходимую плавучесть, а также защиту от воздействия внешних факторов. Корпус может иметь различные формы и размеры в зависимости от конкретных требований. Другим важным элементом конструкции является система управления. Она обеспечивает управление движением РТК и выполнение необходимых задач. Система управления может включать в себя различные компоненты, такие как датчики, электронику, программное обеспечение и другие [2], [6].

Также важным аспектом конструкции является система энергоснабжения, она может использовать различные источники энергии, такие как батареи, солнечные панели или генераторы. Эффективность системы энергоснабжения напрямую влияет на время работы РТК и его производительность. Кроме того, конструкция РТК может включать в себя различные дополнительные элементы, такие как механизмы для выполнения специализированных задач, системы связи, оборудование для навигации и др.

Таким образом, конструкция морских РТК требует учета многих факторов, включая требования к производительности, защите от внешних факторов и управляемости. Каждый элемент конструкции РТК должен быть тщательно продуман и интегрирован в общую схему, чтобы обеспечить эффективную работу в различных условиях морской среды [7]. Конструкция надводных РТК также может включать в себя элементы, обеспечивающие

стабильность и маневренность, эти элементы помогают управлять движением РТК в различных условиях морской среды и повышают его устойчивость.

Важным аспектом конструкции РТК является также учет особенностей задач, которые он должен выполнять. Например, для РТК, задачей которых является исследование морской среды, может потребоваться установка дополнительного оборудования, такого как датчики температуры и давления, системы сбора и анализа данных, а также оборудование для забора проб воды. Для РТК, которые должны выполнять задачи по обеспечению безопасности, могут потребоваться специализированные системы обнаружения и предотвращения столкновений [8], [9].

В конструкцию морских РТК также могут быть интегрированы системы автоматического управления, которые позволяют РТК выполнять задачи автономно без участия человека. Это позволяет увеличить эффективность работы РТК и уменьшить затраты на персонал.

Современные дизайн-концепты морских робототехнических комплексов стремятся к созданию более эффективных и гибких устройств, способных решать широкий круг задач. Одним из интересных концептов является разработка устройств с плавающими платформами, оснащенными дронами для выполнения задач в воздушном пространстве над водной поверхностью. Эти устройства могут использоваться для мониторинга морской среды, обеспечения безопасности на море и поддержки береговой охраны.

Представителем такого класса морских РТК является экспериментальный проект КБ «Талисман» и НПК «Сетецентрические Платформы» - «Глайдерон» [4] (рис.5).



Рисунок 5 - Автономный надводно-подводный роботизированный комплекс «Глайдерон» [4]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.5>

Аппарат может осуществлять оперативный мониторинг акваторий и прибрежной территории. Уникальность морского авиационного комплекса «Глайдерон» заключается в объединении беспилотников различной функциональности в единую конструкцию. Планируется использовать для решения вопросов гидрологии, гидрофизики. Оригинальная конструкция позволит получать качественный и всесторонний анализ данных. Робот будет полезен для оперативного мониторинга пространства, охраны мостов, гидроэлектростанций [4], [10].

Другой концепт – создание надводных РТК с возможностью выполнять автономные миссии, не требующие участия человека. Такие устройства могут быть использованы для разведки и инспекции подводных объектов, мониторинга и контроля за морской средой, поиска и спасения (рис.6) [3], [11].

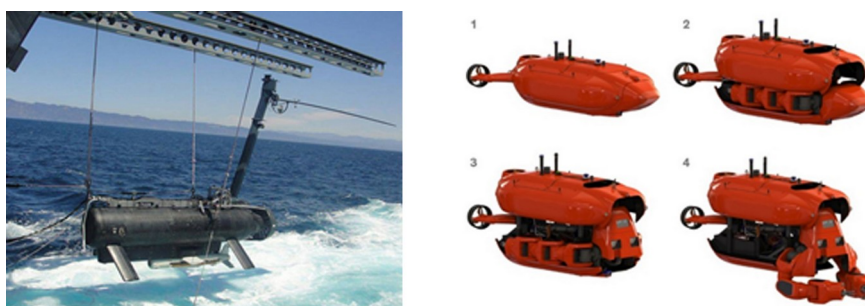


Рисунок 6 - Система поиска мин «Remote Mine-hunting System» (Lockheed Martin, США), автономное подводное средство «Aquanaut» (Houston Mechatronics, США) [11]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.6>

Еще один концепт – создание модульных надводных РТК, которые могут быть быстро модифицированы и настроены под конкретные задачи. Это позволяет операторам быстро реагировать на изменения ситуации и эффективно использовать устройства для различных миссий (рис.6, справа).

В целом современные дизайн-концепты надводных РТК стремятся к созданию устройств с более широкими возможностями и гибкостью в выполнении задач. Важно отметить, что реализация этих концептов требует не только технологических решений, но и разработки соответствующих методов управления и обработки данных [11].

Далее в таблице представлены некоторые современные морские робототехнические комплексы, используемые в разных странах [3], [12], [13].

Таблица 1 - Современные морские робототехнические комплексы, используемые в разных странах
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.7>

Название	Страна производитель	Год выпуска	Разработчик	Масса	Скорость	Глубина погружения	Назначение	Внешний вид
Seaglider	США	2008	iRobot	52 кг	25 см/с	до 1 км	АНПА для подводных исследований	
Gavia	Исландия	2011	Hafmynd ehf.	79 кг	5.5 узлов	1000м	Аппарат, способный осуществлять подводный поиск	
АНПА "Концепт-М"	Россия	2015	ГК "Тетис"	80 кг	до 4 узлов	до 1000 м	Российская разработка "по мотивам" исландского аппарата Gavia	
Глайдер (Морская тень)	Россия	2016	ЗАО "Океанос" и СПбГМТУ	150 кг	3.7 км/ч	15 м	Аппарат двойного назначения, испытывался в составе перспективных подводных комплексов ВМФ РФ	
АНПА "Амулет"	Россия	2017	ЦКБ "Рубин"	25 кг	5.4 км/ч	50 м	Проведение поисковых и исследовательских операций, наблюдение за показателями подводной среды	
Галтель	Россия	2017	Институт проблем морских технологий РАН (ИПМТ РАН)	180 кг	8 км/ч	400 м	Мобильный многоцелевой комплекс освещения донной и придонной обстановки	
Aquanaut	США	2018	Houston Mechatronics,	1060 кг	до 7 узлов	до 10 км	Подводный робот, способный трансформироваться из АНПА в ТНПА и наоборот	
Витязь-Д	Россия	2019	АО "ЦКБ морской техники Рубин"	5650 кг	10 км/ч	12 км	Комплекс для глубоководных подводных исследований	

Проблемы в разработке современных морских робототехнических комплексов

Современные морские робототехнические комплексы имеют ряд проблем, связанных с их конструкцией, дизайном и функциональностью:

1. Надежность и безопасность. Робототехнические комплексы, работающие на морской поверхности, подвержены воздействию различных факторов, таких как сильные ветры, высокие волны, морской прибой, соленая вода и другие агрессивные условия, надежность и безопасность таких устройств играют важную роль.

2. Система питания и зарядки. Робототехнические комплексы, работающие на морской поверхности, нуждаются в длительной работе и энергопотреблении. Это требует эффективной системы питания, которая может обеспечить надежную работу устройств и продолжительный период автономной работы. Зарядка также является одной из главных проблем, которые требуют постоянного контроля и обслуживания.

3. Управление и управляемость. Управление и управляемость морских РТК являются критически важными проблемами, которые нужно решить. Для того чтобы устройства могли выполнять задачи в условиях реальной среды, необходимо разработать эффективные методы управления и контроля, которые позволят управлять устройствами в различных ситуациях.

4. Сбор и обработка данных. Современные морские РТК собирают большое количество данных, которые необходимо обрабатывать для получения полезной информации. Для этого требуются эффективные алгоритмы и программное обеспечение, которые могут обрабатывать данные в режиме реального времени.

5. Эффективность и производительность. Одной из основных проблем в дизайн-концептах современных морских РТК является эффективность и производительность устройств. Для того чтобы устройства могли выполнять задачи более эффективно, требуются более совершенные технологии и инженерные решения, которые могут обеспечить более высокую скорость и точность работы.

Рассмотрим применение концепции подводных крыльев в морских робототехнических комплексах. Современные морские робототехнические комплексы на подводных крыльях представляют собой инновационный дизайн-концепт, который предполагает использование подводных крыльев для обеспечения устойчивости и маневренности устройства на морской поверхности.

Концепция подводных крыльев была разработана для улучшения гидродинамических свойств надводных РТК и обеспечения им большей устойчивости и маневренности во время работы на морской поверхности. Подводные крылья способны создавать подъемную силу и снижать гидродинамическое сопротивление, что позволяет устройствам быстрее и эффективнее передвигаться по воде (рис. 7) [14], [15].



Рисунок 7 - Дизайн-концепты современных РТК на подводных крыльях [15]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.8>

Конструкция надводных РТК на подводных крыльях предполагает использование более легких и прочных материалов для корпуса устройства, что уменьшает его вес и повышает его грузоподъемность. Это позволяет устройствам более эффективно выполнять задачи, такие как поиск и обнаружение объектов на морской поверхности, мониторинг состояния окружающей среды и другие.

Современные морские РТК на подводных крыльях также оснащены современными системами управления и контроля, которые позволяют операторам управлять устройствами с помощью дистанционных устройств, а также осуществлять мониторинг и анализировать данные в режиме реального времени.

Концепция морских РТК на подводных крыльях представляет собой перспективное направление развития робототехники в морских условиях. Она может быть использована в различных областях, таких как гидрография, геологическое исследование морского дна, исследование окружающей среды, а также в морской экологии и морском транспорте.

Применение концепции экраноплана в надводных робототехнических комплексах также становится перспективным. Экраноплан – это судно, способное передвигаться по воде, воздуху и почти на поверхности земли благодаря силе, создаваемой подвеской над поверхностью, на которой он движется. Такая технология позволяет экраноплану достигать высоких скоростей и маневренности на морской поверхности.

Современные надводные робототехнические комплексы на базе экраноплана – это инновационный дизайн-концепт, который предполагает использование технологии экранопланов для создания высокоэффективных и маневренных надводных РТК (рис. 8) [14], [16].

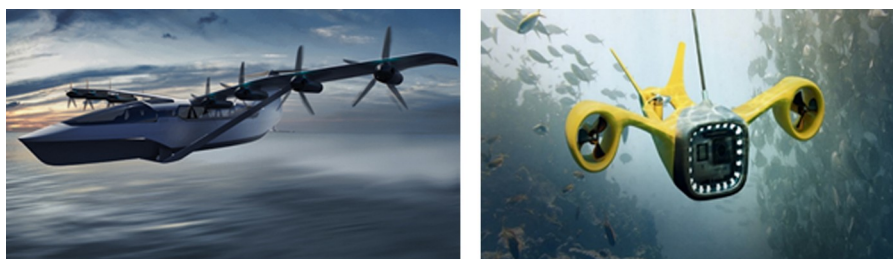


Рисунок 8 - Дизайн-концепты современных РТК на основе экраноплана и гидроконвертоплана [15], [16]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.9>

Концепция надводных РТК на базе экраноплана предполагает использование такой же технологии для создания беспилотных надводных устройств. Это позволяет устройствам достигать высоких скоростей и маневренности на морской поверхности, что делает их идеальными для различных задач, таких как патрулирование, поиск и обнаружение объектов, мониторинг окружающей среды и другие [15].

Современные надводные РТК на базе экраноплана обычно оснащены мощными двигателями и системами управления, которые позволяют операторам управлять устройствами с помощью дистанционных устройств и программного обеспечения. Они также могут быть оснащены современными системами навигации и обнаружения, такими как радары, сонары и камеры высокого разрешения [16].

Однако существуют некоторые проблемы при создании надводных РТК на базе экраноплана, такие как повышенная сложность в управлении и обслуживании из-за высоких требований к маневренности и скорости. Также необходимо учитывать экологические факторы и возможность повреждения морской среды при использовании таких устройств.

Концепция гидроконвертоплана представляет собой гибрид между гидропланом и вертолетом (рис. 8, справа). Она основана на использовании главного ротора, который может вертикально поднимать и удерживать гидроконвертоплан в воздухе, а также наличии крыльев для поддержания полета. Эта концепция также может быть применена в надводных робототехнических комплексах. Такие комплексы способны работать в различных условиях, в том числе на

поверхности воды, в воздухе и под водой. Кроме того, они могут иметь более высокую скорость и маневренность по сравнению с традиционными надводными роботами.

Одним из возможных путей решения проблем, связанных с дизайном надводных робототехнических комплексов на базе концепции гидроконвертоплана, является разработка новых материалов и технологий производства, которые позволят уменьшить затраты на производство и эксплуатацию таких комплексов.

Для выполнения различных подводных работ разрабатываются разные автономные беспилотные подводные аппараты. В частности, существует и концепция гусеничного вездехода, способного передвигаться по дну и нести необходимое целевое оборудование. Такая техника была разработана американской компанией Bayonet Ocean Infinity (рис.9) [12], [13], [17]. Эти аппараты используются для поиска и исследования морского дна, обнаружения подводных объектов, оценки экологических условий.

На данный момент в семейство Bayonet («Штык») входит три подводных аппарата: Bayonet 150, Bayonet 250 и Bayonet 350, которые имеют разные размеры, массу и назначение. Все эти изделия являются дистанционно управляемыми автономными гусеничными машинами, с бортовым компьютером, спутниковой системой навигации, на глубине съемный буй с антенной или кабелем.

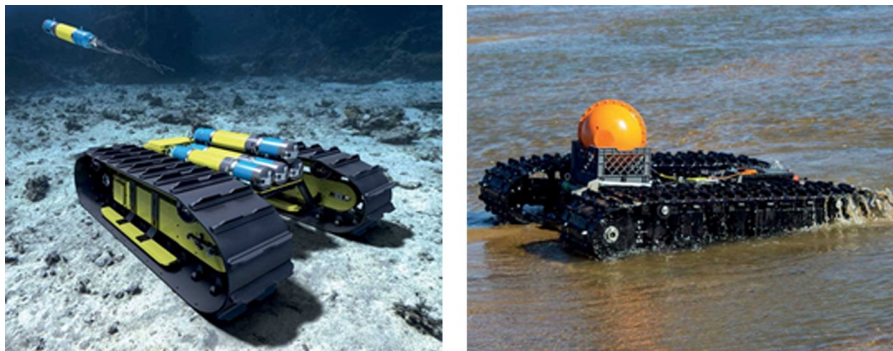


Рисунок 9 - Изделие «Bayonet 250» и т.тяжелый вездеход «Bayonet 350» [17]
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.10>

В настоящее время беспилотные подводные аппараты с разными характеристиками и возможностями пользуются популярностью среди разработчиков и потенциальных заказчиков [17], [18]. В дизайн-проектах морских робототехнических комплексов военного назначения, особое внимание уделяется их боевым характеристикам и функциональности.

Одной из ключевых концепций в дизайне надводных робототехнических комплексов является концепция «умного» робота, способного самостоятельно принимать решения и адаптироваться к изменяющейся ситуации на поле боя. В таких комплексах широко применяются сенсорные системы, технологии искусственного интеллекта и другие современные технологии для повышения эффективности и автономности роботов.

Компания Saab предлагает семейство полуавтономных дистанционно управляемых подводных аппаратов «Double Eagle ROV». Новейшее дополнение семейства – система нейтрализации мин «Multi-Shot Mine Neutralisation System». Дистанционно управляемый подводный аппарат проверки и обезвреживания мин «SeaFox» (рис. 10) [18].



Рисунок 10 - Дистанционно управляемые подводные аппараты «Double Eagle», система проверки и обезвреживания мин «SeaFox» [18]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21.11>

Также в дизайн-проектах морских робототехнических комплексов военного назначения важное место занимают вопросы безопасности и защиты от вражеских атак. Для этого используются различные защитные системы, такие как защитные экраны, бронирование, системы обнаружения и уничтожения угроз и т.д.

Еще одной важной концепцией в дизайн-проектах надводных робототехнических комплексов военного назначения является концепция «интероперабельности». Это означает, что комплексы должны быть способны взаимодействовать между собой и с другими военными системами для эффективного выполнения задач [17], [18].

Таким образом, дизайн-проекты морских робототехнических комплексов военного назначения сфокусированы на создании многофункциональных, автономных и безопасных комплексов, которые могут успешно выполнять различные задачи в военных операциях.

Перспективы будущего развития робототехнических комплексов

Проблемы, связанные с дизайном современных надводных робототехнических средств, могут быть решены различными способами. Рассмотрим несколько возможных путей решения:

- использование новых материалов и технологий производства. Применение новых материалов, таких как карбоновые волокна или сплавы на основе титана, может позволить создавать более легкие и прочные корпуса для надводных робототехнических средств. Также использование новых технологий производства, например, 3D-печати, может значительно сократить время и затраты на изготовление прототипов и экспериментальных образцов.
- усовершенствование систем автономной навигации. Автономные системы навигации играют ключевую роль в управлении надводными робототехническими средствами. Усовершенствование таких систем может повысить точность и эффективность управления, а также обеспечить более безопасную эксплуатацию.
- разработка новых алгоритмов управления. Новые алгоритмы управления могут обеспечить более эффективное использование энергии, более точное и гибкое управление, а также улучшение других характеристик надводных робототехнических средств.
- создание гибридных систем. Использование гибридных систем, таких как комбинация механических и электрических приводов, может позволить создавать более эффективные и универсальные надводные робототехнические средства.
- развитие технологий беспроводной связи. Современные технологии беспроводной связи позволяют создавать более надежные и быстрые каналы связи между надводными робототехническими средствами и операторами. Развитие таких технологий может существенно повысить эффективность управления надводными робототехническими средствами и обеспечить более безопасную эксплуатацию.

Заключение

В итоге можно сделать вывод, что современные дизайн-проекты надводных робототехнических комплексов обладают высокой функциональностью и универсальностью в применении, благодаря использованию передовых технологий и инновационных решений в конструировании и привлечению опыта других отраслей. Однако проектирование и создание эффективных надводных робототехнических комплексов остается сложной задачей, требующей учета множества факторов, включая различные аспекты производственного, экономического, технического и экологического характера.

Следует также отметить, что на данный момент существует ряд проблемных вопросов, связанных с дизайном современных надводных робототехнических комплексов, таких как повышение энергоэффективности, улучшение маневренности, увеличение дальности действия и прочее. Однако с развитием науки и технологий можно ожидать появления новых инновационных решений и возможностей для решения данных проблем.

Таким образом, конструкция надводных робототехнических комплексов является перспективным направлением развития современных технологий и может иметь широкое применение в различных областях, включая морскую эксплуатацию, научные исследования, военную и промышленную сферы, экологический контроль и спасательные операции.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Чарушников Ю. Первые обитаемые подводные аппараты в СССР/ Ю. Чарушников // Российская газета. Спецвыпуск: Армия. — 2019. — №135(7893). — URL: <https://rg.ru/2019/06/24/pervye-neobitaemye-podvodnye-apparaty-v-sssr-poiavilis-v-1960-h-godah.html> (дата обращения: 22.05.2023)
2. Матвиенко Ю. Третье десятилетие ИПМТ ДВО РАН – от экспериментальных образцов – к серийным изделиям подводной робототехники / Ю. Матвиенко. — 2018. — URL: https://ankulikova.blogspot.com/2018/04/blog-post_3.html (дата обращения: 19.05.2023)
3. Антипова С.А. Краткий обзор основных направлений разработки и применения робототехнических комплексов Вооруженными силами США / С.А. Антипова, М.Н. Волков // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. — 2019. — С.126-131.
4. Бойко А. Seaglider – Каталог подводных роботов / А. Бойко. — 2019. — URL: <https://robotrends.ru/robopedia/seaglider> (дата обращения: 20.05.2023)
5. Граневский К.В. Комплексное применение геоинформационных систем и робототехнических комплексов в интересах Военно-Морского Флота / К.В. Граневский, Д.К. Кораблев // Материалы конференции "Управление в морских системах" (УМС-2020). — СПб.: АО "Конерн" ЦНИИ "Электроприбор". — 2020. — С.114-117.

6. Kabanov A. Marine Internet of Things Platforms for Interoperability of Marine Robotic Agents: an Overview of Concepts and Architectures / A. Kabanov, V. Kramar // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2022. — V.10. — №9. — P.1279. — DOI: 10.3390/jmse10091279
7. Маевский А. М. Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов / А.М. Маевский, И.А. Печайко, С.А. Турсенев // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2021. — №. 2. — С.32-39.
8. Мусатов Е.А. Создание В АО "Концерн "НПО Аврора"" перспективных морских робототехнических комплексов-автономных необитаемых подводных аппаратов / Е.А. Мусатов, Ю.Е. Рожков, С.Н. Сурин // *Системы управления и обработки информации*. — 2020. — №. 1. — С.21-35.
9. Митус К.Н. Анализ рынка подводной робототехники России / К.Н. Митус, Е.П. Гармашова // *Вопросы инновационной экономики, Учредители: ООО "Триумф-Регион"*. — 2023. — Т. 13. — №. 1. — С.233-254.
10. Balaje D. Overview of Autonomous Marine Surveillance Device / D. Balaje, V. Vibha, H. Pichumani [et al.] // 2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS). — IEEE, 2022. — P.1-3.
11. Анандан Т.М. Подводный автономный робот Aquanaut компании Houston Mechatronics для исследования и добычи ресурсов: конструкция и возможности / Т.М. Анандан. — 2022. — URL: <https://integral-russia.ru/2022/12/02/podvodnyj-avtonomnyj-robot-aquanaut-kompanii-houston-mechatronics-dlya-issledovaniya-i-dobychi-resursov-konstruktsiya-i-vozmozhnosti/> (дата обращения: 23.05.2023)
12. Mihalič F. Hardware-in-the-loop Simulations: A Historical Overview of Engineering Challenges / F. Mihalič, M. Truntič, A. Hren // *Electronics*. — 2022. — V.11. — №15. — P. 2462. — DOI: 10.3390/electronics11152462
13. Mazzeo A. Marine Robotics for Deep-sea Specimen Collection: A Systematic Review of Underwater Grippers / A. Mazzeo, J. Aguzzi, M. Calisti et al. // *Sensors*. — 2022. — V.22. — №.2. — P.648. — DOI: 10.3390/s22020648
14. Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности / под ред. И.Б. Аббасова. — М.: ДМК Пресс, 2020. — 300 с.
15. Добровольский А. В России завершено проектирование нового морского экраноплана А-050 / А. Добровольский. — 2021. — URL: <https://fishki.net/1673147-v-rossii-zaversheno-proektirovanie-novogo-morskogo-jekranoplana-a-050.html> (дата обращения: 20.05.2023)
16. Мозолев С. Скоростные экранопланы «Seaglider» / С. Мозолев. — 2021. — URL: <https://chudo.tech/2021/05/18/skorostnye-ekranoplany-seaglider> (дата обращения: 24.05.2023)
17. Рябов К. Безэкипажные подводные аппараты семейства Bayonet (США) / К. Рябов // *Военное обозрение*. — 2021. — URL: <https://topwar.ru/213577-bezjkipazhnye-podvodnye-apparaty-semejstva-bayonet-ssha.html> (дата обращения: 21.05.2023)
18. Алексеев А. Опасности морских глубин и борьба с ними (Часть 2) / А. Алексеев. — 2016. — URL: <https://topwar.ru/98476-opasnosti-morskih-glubin-i-borba-s-nimi-chast-2.html> (дата обращения: 19.05.2023)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Charushnikov YU. Pervyye neobitayemye podvodnyye apparaty v SSSR [The First Unmanned Underwater Vehicles in the USSR] / Yu. Charushnikov // *Rossiyskaya gazeta. Spetsvypusk: Armiya* [Rossiyskaya Gazeta. Special Issue: Army]. — 2019. — №135 (7893). — URL: <https://rg.ru/2019/06/24/pervyye-neobitaemye-podvodnye-apparaty-v-sssr-poiavilis-v-1960-h-godah.html> (accessed: 22.05.2023) [in Russian]
2. Matviyenko YU. Tret'ye desyatletie IPMT DVO RAN – ot eksperimental'nykh obraztsov – k seriynym izdeliyam podvodnoy robototekhniki [Third Decade of IPMT FEB RAS – from Experimental Samples to Serial Products of Underwater Robotics] / YU. Matviyenko. — 2018. — URL: https://ankulikova.blogspot.com/2018/04/blog-post_3.html (accessed: 19.05.2023) [in Russian]
3. Antipova S.A. Kratkiy obzor osnovnykh napravleniy razrabotki i primeneniya robototekhnicheskikh kompleksov Vooruzhennymi silami SSHA [A Brief Overview of the Main Trends in the Development and Use of Robotic Systems by the U.S. Armed Forces] / S.A. Antipova, M.N. Volkov // *Problemy tekhnicheskogo obespecheniya voysk v sovremennykh usloviyakh* [Problems of Technical Support of Troops in Modern Conditions]. — 2019. — P.126-131. [in Russian]
4. Boyko A. Seaglider – Katalog podvodnykh robotov [Seaglider – Underwater Robotics Catalogue] / A. Boyko. — 2019. — URL: <https://robotrends.ru/robopedia/seaglider> (accessed: 20.05.2023) [in Russian]
5. Granevskiy K.V. Kompleksnoye primeneniye geoinformatsionnykh sistem i robototekhnicheskikh kompleksov v interesakh Voenno-Morskogo Flota [Complex Application of Geoinformation Systems and Robotic Complexes in the Interests of the Navy] / K.V. Granevskiy, D.K. Korablev // *Materialy konferentsii "Upravleniye v morskikh sistemakh" (UMS-2020)* [Proceedings of the conference "Management in Marine Systems" (MMS-2020)]. — SPb.: JSC "Konern" Central Research Institute "Electropribor". — 2020. — P.114-117. [in Russian]
6. Kabanov A. Marine Internet of Things Platforms for Interoperability of Marine Robotic Agents: an Overview of Concepts and Architectures / A. Kabanov, V. Kramar // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2022. — V.10. — №9. — P.1279. — DOI: 10.3390/jmse10091279
7. Mayevskiy A. M. Primeneniye morskikh robototekhnicheskikh kompleksov dlya monitoringa i analiza potentsial'no opasnykh podvodnykh ob'yektov [Application of Marine Robotics Systems for Monitoring and Analysis of Potentially Hazardous Underwater Objects] / A.M. Mayevskiy, I.A. Pechayko, S.A. Tursenev // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of Risk Management in the Technosphere]. — 2021. — №. 2. — P.32-39. [in Russian]
8. Musatov Ye.A. Sozdaniye V AO "Kontsern "NPO "Aurora"" perspektivnykh morskikh robototekhnicheskikh kompleksov-avtonomnykh neobitayemykh podvodnykh apparatov [Creation of Advanced Marine Robotic Complexes-Autonomous Unmanned Underwater Vehicles at NPO "Aurora" Concern JSC] / Ye.A. Musatov, Yu.E. Rozhkov, S.N. Surin //

Sistemy upravleniya i obrabotki informatsii [Control and Information Processing Systems]. — 2020. — №. 1. — P.21-35. [in Russian]

9. Mitus K.N. Analiz rynka podvodnoy robototekhniki Rossii [Analysing the Underwater Robotics Market in Russia] / K.N. Mitus, Ye.P. Garmashaova // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki [Issues in the Innovation Economy], Uchrediteli: Founders: "Triumph-Region" LLC. — 2023. — Vol. 13. — №. 1. — P.233-254. [in Russian]

10. Balaje D. Overview of Autonomous Marine Surveillance Device / D. Balaje, V. Vibha, H. Pichumani [et al.] // 2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS). — IEEE, 2022. — P.1-3.

11. Anandan T.M. Podvodnyy avtonomnyy robot Aquanaut kompanii Houston Mechatronics dlya issledovaniya i dobychi resursov: konstruktsiya i vozmozhnosti [Houston Mechatronics' Aquanaut Underwater Autonomous Robot for Exploration and Resource Extraction: Design and Capabilities] / T.M. Anandan. — 2022. — URL: <https://integral-russia.ru/2022/12/02/podvodnyj-avtonomnyj-robot-aquanaut-kompanii-houston-mechatronics-dlya-issledovaniya-i-dobychi-resursov-konstruktciya-i-vozmozhnosti/> (accessed: 23.05.2023) [in Russian]

12. Mihalič F. Hardware-in-the-loop Simulations: A Historical Overview of Engineering Challenges / F. Mihalič, M. Truntič, A. Hren // Electronics. — 2022. — V.11. — №15. — P. 2462. — DOI: 10.3390/electronics11152462

13. Mazzeo A. Marine Robotics for Deep-sea Specimen Collection: A Systematic Review of Underwater Grippers / A. Mazzeo J. Aguzzi, M. Caliisti et al. // Sensors. — 2022. — V.22. — №.2. — P.648. — DOI: 10.3390/s22020648

14. Komp'yuternoye modelirovaniye v aviakosmicheskoy promyshlennosti [Computer Modelling in the Aerospace Industry] / ed. by I.B. Abbasov. — M.: DMK Press, 2020. — 300 p. [in Russian]

15. Dobrovol'skiy A. V Rossii zaversheno proyektirovaniye novogo morskogo ekranoplana A-050 [Russia has completed the design of a new offshore A-050 screen plane] / A. Dobrovol'skiy. — 2021. — URL: <https://fishki.net/1673147-v-rossii-zaversheno-proektirovanie-novogo-morskogo-jekranoplana-a-050.html> (accessed: 20.05.2023) [in Russian]

16. Mozolev S. Ckorostnyye ekranoplany «Seaglider» ["Seaglider" high-speed screen planes] / S. Mozolev. — 2021. — URL: <https://chudo.tech/2021/05/18/ckorostnye-ekranoplany-seaglider> (accessed: 24.05.2023) [in Russian]

17. Ryabov K. Bezekipazhnyye podvodnyye apparaty semeystva Bayonet (SSHA) [Bayonet family uncrewed submersibles (USA)] / K. Ryabov // Voennoye obozreniye [Military Review]. — 2021. — URL: <https://topwar.ru/213577-bezekipazhnye-podvodnye-apparaty-semejstva-bayonet-ssha.html> (accessed: 21.05.2023) [in Russian]

18. Alekseyev A. Opasnosti morskikh glubin i bor'ba s nimi [Dangers of the deep sea and how to deal with them (Part 2)] / A. Alekseyev. — 2016. — URL: <https://topwar.ru/98476-opasnosti-morskih-glubin-i-borba-s-nimi-chast-2.html> (accessed: 19.05.2023) [in Russian]