

РАЗВИТИЕ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РОССИИ И МИРЕ

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

(СЕРИЯ СТАТЕЙ РАСКРЫВАЮЩИХ ТЕМУ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РОССИИ И МИРЕ)

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. СОЗДАНИЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПОСЛЕДНИЕ НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТИЛЕТИЙ В МИРЕ.

Российская Федерация, являясь государством с протяженной морской границей и большим числом морских портов на трех океанах, уделяет особое внимание развитию морской деятельности. Морской доктрины Российской Федерации, утв. Указом Президента Российской Федерации от 31.07.2022 № 512, создание и применение морских робототехнических комплексов утверждено как одно из приоритетных направлений для обеспечения выполнения задач в следующих областях:

1. Эффективное функционирование и развитие морских трубопроводных систем по транспортировке углеводородного сырья, в том числе добываемого на континентальном шельфе РФ.

2. Морские научные исследования, направленные на получение системных знаний о Мировом океане, его биологической продуктивности, минеральных ресурсах и возможности их использования, а также о природных и техногенных процессах, происходящих на его дне, в недрах, водной толще, на поверхности в интересах устойчивого развития и укрепления национальной безопасности Российской Федерации, снижения возможного ущерба от морских природных и техногенных катастроф.

3. Обеспечение и создание условий для эффективного осуществления морской деятельности в:

- создании нового конкурентоспособного облика судостроительной промышленности Российской Федерации, связанного с развитием и производством МРТК гражданского назначения;
- создании, развитии и оснащении морских аварийно-спасательных служб, поисково-спасательных и аварийно-спасательных формирований современными МРТК, оснащенными средствами поиска и спасания на море.

Кроме того, морские робототехнические комплексы как инструменты осуществления морской деятельности могут способствовать выполнению целого ряда иных задач в рамках направлений развития морской деятельности, предусмотренных Морской доктриной РФ.

В обеспечение решения вышеуказанных приоритетных задач, Министерством промышленности и торговли совместно с ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в 2025 году была инициирована и поставлена научно-исследовательская работа «Системное исследование уровня готовности технологий и производств в интересах создания морских робототехнических комплексов различного назначения» (далее - НИР).



Рисунок 1 – Советский ТНП «Манта» 1968-1971 гг. с техническим зернем и системой целеуказания по телевизионному экрану

Основными целями работы является системное исследование путей и способов массового создания широкой номенклатуры морских робототехнических комплексов, а также системное исследование уровня готовности технологий и производств в интересах создания безэкипажных катеров гражданского назначения.

- В рамках работы решаются следующие задачи:
- Выполнение анализа и систематизация информации о разработках и опыта применения по назначению отечественных и зарубежных МРТК гражданского назначения;
 - Формирование структуры и методики формирования обобщенных моделей применения БЭК в составе разнородных МРТК гражданского назначения;
 - Формирование структуры общих функциональных и технических требований к основным и критически важным составным частям БЭК (модулям, узлам, агрегатам, функциональным подсистемам) с учетом их унификации;
 - Разработка план-проспекта методического обеспечения оценки уровня готовности отечественных технологий и производств основных составных частей БЭК в составе разнородных МРТК гражданского назначения;
 - Разработка требований к альбому типовых компоновочных решений по составным частям БЭК с учетом обобщенных моделей применения;
 - Разработка методики технико-экономической

оценки стоимости жизненного цикла БЭК в составе разнородных МРТК гражданского назначения в соответствии с обобщенными моделями применения.

Анализ мирового опыта применения МРТС типа БЭК показал, что выделение, систематизация и классификация сфер применения (назначений) МРТС типа БЭК строго не детерминирована и опирается на совокупность следующих факторов:

- объект и предмет проведения исследований, т.е. набор измеряемых показателей различных сред (водной, воздушной и т.д.) и собираемых при помощи МРТС данных;
- область дальнейшего применения собранных данных: для каких целей проводятся измерения (например, батиметрия в рамках научных исследований, батиметрия на стадиях предпроектных работ и строительства объектов и инфраструктуры в акватории, батиметрия для целей картографирования и судоходства и т.д.) и кто будет являться потенциальным пользователем/потребителем собранной и обработанной информации.

Исследование в рамках НИР проводится по комплексной методике, объединяя кабинетные методы сбора и анализа открытой информации (первоначальных данных и вторичных данных аналитической информации), а также качественные методы (проведение интервью с участниками отрасли и другие методы), обеспечивающие интерпретацию и верификацию данных.

Для разработки темы использовались следующие исходные данные:

- отраслевые документы стратегического планирования (государственные и корпоративные);
- нормативно-технические документы (ГОСТ, правила и др.);
- патентные исследования;
- отраслевые аналитические отчеты;
- данные зарубежных и отечественных производителей и разработчиков МРТК гражданского назначения, использующих БЭК;
- данные регуляторов отрасли и отраслевых ассоциаций;
- публикации научного и научно-прикладного характера в российских и зарубежных изданиях;
- публикации деловых и отраслевых СМИ;
- экспертные интервью с разработчиками/производителями БЭК, текущими и потенциальными эксплуатантами БЭК для гражданских нужд, отраслевыми экспертами.

В научно-исследовательской работе в качестве объекта исследования рассмотрены морские робототехнические комплексы (МРТК) гражданского назначения, использующие в своем составе в качестве морского робототехнического средства (МРТС) безэкипажные катера – как в виде единственного типа МРТС, входящего в МРТК, так и совместно с иными типами МРТС: необитаемыми подводными аппаратами (АНПА/ТНПА) и беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). По типу исполнения рассматриваемые МРТК относятся к мобильным МРТК (МРТК М).

При этом, поскольку катера являются одним из типов маломерных судов, при анализе отечественного и зарубежного опыта и практики применения с учетом Правил классификации и освидетельствований маломерных судов Российского морского регистра судоходства [], в том числе для формирования каталогов

существующих зарубежных и отечественных решений, а также при анализе случаев и ситуаций фактического применения, рассматривались БЭК, длина которых не превышает 20 метров, и не анализировались крупнотоннажные суда, на которые установлены системы автоматизированного судовождения.

СОЗДАНИЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПОСЛЕДНИЕ НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТИЛЕТИЙ В МИРЕ ЯВЛЯЕТСЯ РЕЗУЛЬТАТОМ СЛОЖЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ НЕСКОЛЬКИХ ГЛОБАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ: ЭКОНОМИЧЕСКИХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ

После завершения Второй мировой войны происходил процесс глобализации мировой экономики, связанный с углублением экономических связей между странами, что привело к увеличению торговли, инвестиций и миграции рабочей силы [2], переходу капиталов, формированию транснациональных корпораций, росту взаимозависимости стран мира, а также проявилось в ускоренном распространении и экономическом влиянии технологий [3] и росте ВВП (в 10 раз с 1945 по 2024 г. [4]).

Следствием этих процессов стало развитие морской деятельности, выраженное прежде всего в развитии морской торговли и ее инфраструктуры (терминалы морских портов, фарватеры, морские и речные каналы и др.), т.к. морские перевозки являются наиболее экологически безопасным и экономически эффективным методом коммерческих перевозок. Расширение глобальных цепочек создания стоимости и рост глобализованного производства, в том числе обрабатывающего, требуют перемещения большого количества сырья и полуфабрикатов, готовой продукции. Возможность получать ресурсы от разных поставщиков позволило создать эффективную международную систему морских перевозок, которая в последние десятилетия обеспечивала рост морской торговли.

С 1970 года по настоящее время количество тонн морских грузов, перевозимых каждый год, на каждого жителя мира удвоилось с 0,7 тонны до 1,4 тонны. По данным ООН, около 80 % мирового товарного оборота перевозится морем. С 1983 по 2022 год объемы торговли контейнерами ежегодно увеличивались на 7 % [5]. На 2024 год морская торговля обеспечивалась работой более 50 000 торговых судов. Штатный состав для обслуживания данного флота составлял более миллиона моряков. В период с 1990 по 2020 год объемы морской торговли увеличились более чем вдвое и достигли 10,65 млрд тонн [6]. Ожидается, что дальнейший среднегодовой темп роста мировой морской торговли составит 5,19 % до 2029 года [7]. Такое развитие морской торговли и ее инфраструктуры – гидротехнических сооружений портовых терминалов, морских каналов и фарватеров и др. потребовало значительных затрат труда и инвестиций финансов на их создание, эксплуатацию и проведение обслуживания.

Вторым важным направлением морской деятельности в последние десятилетия стало активное освоение ресурсов Мирового океана, как в части биологических ресурсов (рыба и морепродукты), так и минеральных (включая добычу нефти, газа на континентальном шельфе), и энергетических (развитие



Рисунок 2 –Первый отечественный МРТС типа БЭК современного типа – Тетис Про Калан, 2013 г.

ветряных и приливных электростанций в прибрежных зонах). Оно связано с ростом населения в мире с 2,5–2,6 млрд человек в 1950 г. до 8,1 млрд в 2024 г. [8], развитием автомобилизации и энергопотребления в условиях роста экономики и промышленного производства. Так, развитие добычи нефти и газа с морских буровых установок в 1950-х годах сформировало новый рынок морской офшорной деятельности, который к 2020-м годам обеспечивал свыше 29 % мировой добычи нефти [9]. Доля открытых месторождений на шельфе в общем объеме мировых открытых ежегодно растет, составляя около 60 % в 2010-х годах и около 73 % в 2020-х годах [10].

Важнейшими технологическими факторами, оказавшими влияние на создание и развитие МРТК, стали развитие информационных технологий, электроники и смежных с ними технологий разработки программного обеспечения и автоматизированных систем управления. Цифровая трансформация, обеспеченная экспоненциальным ростом компьютерных вычислений, после появления массовых микропроцессоров в начале 1970-х гг. [11] обеспечила линейный прогресс мировой промышленности [12]. Данный процесс сказался и на морской деятельности, где также было реализовано множество цифровых решений, обеспечивающих качественный рост технических и эксплуатационных решений, повышение эффективности экономической деятельности. Современные технологии в электронике позволили создать надежные изделия и системы на основе новейших датчиков, микропроцессоров, средств связи и аккумуляторов, которые обеспечили в свою очередь возможность создания мощных программно-аппаратных комплексов для интеллектуализации систем управления, создания компактных и точных приборов для полезной нагрузки с низкой энергоемкостью. Широкополосные, в том числе спутниковые (VSAT) и сотовые каналы связи, WiFi/WiMax и др. с низким потреблением энергии и высокой скоростью передачи данных, создали новые возможности удаленного управления необитаемыми судами и передачи данных. Создание все более мощных вычислительных систем и улучшение характеристик электронных компонентов сформировало технологическую основу для создания МРТС.

Кратное увеличение объемов глобальной морской деятельности, включая морскую торговлю и функционирование ее инфраструктуры, развитие офшорной добычи углеводородов, добычу морских биоресур-

сов, происходят в мире на фоне нарастающего демографического кризиса, связанного со старением населения и сокращением рождаемости в развитых странах и крупнейших экономик Азии (Китай, Индия). Так, к 2060 г. население Германии сократится на 25 %, а численность людей трудоспособного возраста снизится до 36 млн человек – с 54 млн в 2010 г. Численность рабочей силы в Китае достигла своего пика в 2012 году. В Таиланде уровень рождаемости упал с 5 детей на семью в 1970-е гг. до 1,4. Снижение численности рабочей силы заставляет страны и компании переносить акцент в экономическом росте на производительность труда и, пересматривать потенциал глобальной экономики [3].

Сочетание новых технологических возможностей на фоне развития мировой экономики и нарастающего дефицита трудоспособного населения в ключевых экономиках мира, влияющего на стоимость труда, а также развитие постиндустриальных форм занятости вне сферы транспорта и промышленности (ИТ-сектор, сфера услуг и др.), способствовали, начиная с 1970-х годов активному развитию робототехники, обеспечивающему рост производительности труда и экономической эффективности производственных операций и бизнес-процессов. Рост ценности жизни и здоровья работников также привел к увеличению требований по обеспечению охраны труда и промышленной безопасности при выполнении различных морских операций (удорожание себестоимости выполнения операций) и соответствующему влиянию на спрос на робототехнические решения [13].

Общее количество промышленных роботов, находящихся в эксплуатации по всему миру, в 2024 году составило 4 664 000 единиц с уровнем ежегодных установок выше 500 тысяч штук в год (542 тыс. в 2024 году – рост в 2,5 раза к уровню 2014 года). К 2028 году ожидается, что будет превышена отметка в 700 000 установленных единиц в год. Лидерами по роботизации являются Китай, Япония, Южная Корея, США и другие промышленно развитые страны. В данное количество установок входят также морские робототехнические системы (БЭК, АНПА/ТНПА).

Концепция автономного надводного судна впервые появилась во время Первой мировой войны в 1915 г. для военных целей в виде «взрывающихся катеров», позднее создавались дистанционно управляемые суда-мишени для стрельбы, а также корабли для разминирования (1940e), торпедные катера, средства радиохимической разведки (1940-1950e). В 1946 году последствия испытаний подрыва атомных бомб, проводимых США на атолле Бикини, исследовались в том числе с помощью дистанционно управляемых лодок, осуществлявших сбор воды в зоне испытаний. Уже тогда стало ясно, что использование беспилотных судов помогает спасти жизни людей и дать новые преимущества военным. На протяжении XX в. БЭК, используемые для решения военных задач, в основном представляли собой переоборудованные обитаемые катера/суда, на которых устанавливалась специальная аппаратура, позволяющая осуществлять их дистанционное управление. Выбор платформы (судна/катера) ограничивался ее надежностью и функциональным назначением [14].

С появлением системы GPS, доступной для гражданского применения с 1980-х годов, и развитием недорогих широкополосных беспроводных каналов

связи автономные суда получили новые возможности и задачи, и быстро нашли применение в науке, помогая ученым выполнять морские исследования и снижая затраты на них. [15]. Одним из первых разработчиков автономного надводного судна в мире в 1997 г. был Морской исследовательский центр Массачусетского технологического института [16]. Успех научного применения обеспечил развитие спроса на гражданские применения МРТС для морских исследований и операций со стороны крупных корпораций, проводящих мониторинг Мирового океана, портов и морской нефтегазовой инфраструктуры.

Развитию разработки и применения МРТК (и МРТС различных типов) на мировом рынке способствовали глобальность рынка сбыта и концентрация спроса в виде крупных корпоративных клиентов, научных консорциумов и военных заказчиков, доступ разработчиков к новейшим технологиям (в области судостроения, разработки ПО и электроники, систем управления, пропульсивных систем и др.), развитый глобальный рынок венчурных инвестиций, и общие стратегические приоритеты потребителей в части повышения экономической эффективности морских операций в условиях интенсификации морской деятельности и ограниченности числа квалифицированных кадров.

Итогом процессов развития морской робототехники стало:

- формирование к 2020-м годам глобального рынка разработки, производства и внедрения МРТК для применения в широком круге видов морской деятельности (гидрография и морские изыскания, оффшорная добыча углеводородов научные исследования, экологический мониторинг, поиск и спасение, морской транспорт и др.);
- создания широкой линейки доступных на рынке серийных МРТС;
- перехода к сервисной модели использования МРТК;
- развитие специализации поставщиков комплектующих, ключевых узлов и агрегатов, полезной нагрузки;
- развитие сценариев применения МРТС в группах.

Российская Федерация, являясь государством, с выходом к трем океанам, с протяженными морскими границами (более 38 тыс. км) и большим числом морских портов (63 морских порта [17]), площадью континентального шельфа около 5 млн кв. км, уделяет особое внимание развитию морской деятельности. В 2022 г. была утверждена «Морская доктрина Российской Федерации» [18], в которой в качестве приоритетов развития морской деятельности на функциональных направлениях заявлены:

- развитие морского транспорта;
- освоение и сохранение ресурсов Мирового океана;
- развитие морских трубопроводных систем;
- морские научные исследования.

Таким образом, перечень приоритетов развития морской деятельности аналогичен мировым практикам, а с учетом существующих в РФ, как и в других развитых странах, проблем с демографией в виде сокращения числа трудоспособного населения с темпом до 700 тыс. человек в год [19,20,21], и задач экономических субъектов по повышению экономической эффективности и роста производительности труда,

имеет значительный потенциал для автоматизации и применения морских робототехнических систем различных типов и назначения. Применение МРТС, и автоматизация процессов будет наиболее востребована (в соответствии с мировой практикой) в тех морских операциях, где труд человека и его жизнедеятельность затруднены, невозможны или сопряжены с угрозой для жизни и здоровья (например, в условиях Арктики). Кроме того, важнейшими направлениями развития применения морской робототехники станут исследование и освоение ресурсов Мирового океана (минеральных и биологических) в открытом море и на континентальном шельфе (в т.ч. сейсморазведка, разработка месторождений полезных ископаемых и др.), обеспечение морских исследований и изысканий (в т.ч. прогнозирование климата), экологический мониторинг, обеспечение безопасности судоходства и обследования и мониторинг объектов прибрежной и подводной инфраструктуры (включая трубопроводную).

Разработки морской робототехники в части МРТС типа ТНПА/АНПА в СССР начались с 1960-х гг. (аппарат «Манта» ОКБ технической кибернетики в Ленинградском политехническом институте, см. Рисунок 1 – Советский ТНПА «Манта» 1968-1971 гг. с техническим зреием и системой целеуказания по телевизионному экрану) и продолжились в 1970-х (разработки Института автоматики и процессов управления ДВНЦ АН СССР, позднее ИПМТ ДВО РАН), а практическое применение в 1980-х на основе разработок ИПМТ ДВО РАН и далее не останавливались в современной России [22, 23].

Разработка телекомандных катеров (прототип современных БЭК) велась в СССР с 1920-х годов в интересах Военно-Морского флота, в т.ч. для исследовательских задач (химической/радиационной разведки в 1950-х, пр. 3322) и минной обороны (1960-е гг. и 1970-е годы катера-тральщики пр. 1253 и др.) [14]. Разработка МРТС типа БЭК современного типа с учетом развития технологического стека (электроники, ПО, связи, полезной нагрузки) стала возможна в РФ к 2010-м гг. Одним из первых в РФ в 2013 г. был продемонстрирован экспериментальный образец автономного радиоуправляемого катера с гидролокатором бокового обзора Калан, разработанный ОАО «Тетис Про» [24], см. рисунок 2.

Развитие разработок БЭК в первую очередь получило в вузах (Томский Политехнический институт, СПб ПУ им Петра Великого, СПбГЭТУ ЛЭТИ, Самарский ГТУ), а также в таких компаниях Геоматика, НПГ МАКОН (ООО НПК Сетецентрические платформы и ООО КБ Талисман или ООО Экран), ГК Кронштадт, АО НПП Авиационная и морская электроника в 2017-2020 гг. Начиная с этого времени, были представлены в виде опытных образцов и концепций более 70 образцов надводных МРТС от различных российских разработчиков, часть из которых в 2022-2025 гг. перешла в стадию коммерциализированных изделий, выпускаемых штучно или малыми партиями компаниями: Форт ХХI, Си Проект, СПб ПУ, КМЗ, Моринсис-Агат, НПП Радар ММС и др.. Разработка МРТС типа БЭК в РФ существенно ускорилась после начала СВО в 2022 году и формирования практики применения БЭК в рамках морских военных операций на Черном море.

ПРОДОЛЖЕНИЕ САТЬИ В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ