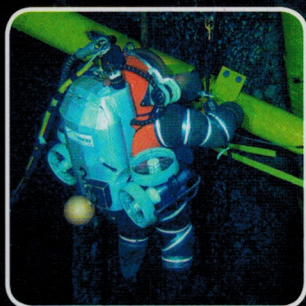
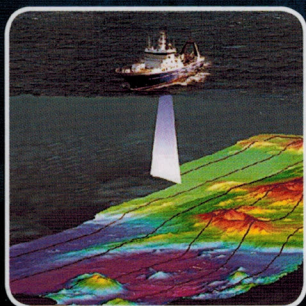
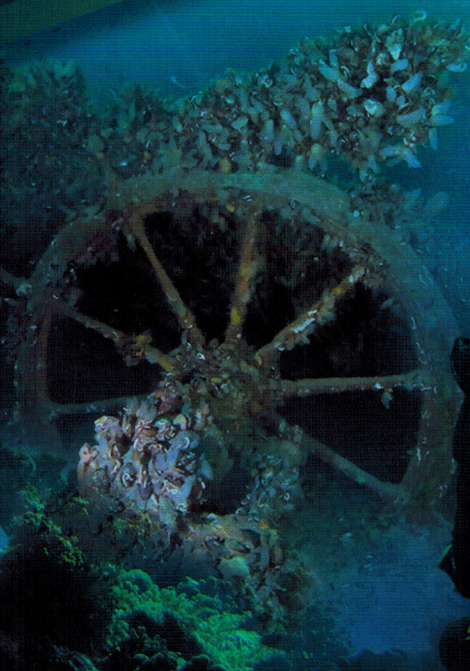




ОСВОЕНИЕ МОРСКИХ ГЛУБИН



Издательский дом
«ОРУЖИЕ И ТЕХНОЛОГИИ»
Москва • 2018



ОСВОЕНИЕ МОРСКИХ ЛУБИН

УДК 629.58(091)

ББК 39.427.5г

072

ОСВОЕНИЕ МОРСКИХ ГЛУБИН

В подготовке материалов для книги принимали участие:

Е. В. Аксенова, Ю. К. Алексеев, А. В. Анисимов, И. М. Ашик, С. Г. Бабкин, В. Е. Бахарева, К. Р. Богданов, С. С. Бодряк, А. А. Борейко, В. В. Вахонеев, А. В. Веселова, Д. В. Войтов, Б. А. Гайкович, Г. С. Гурин, Д. В. Емельянов, А. В. Ёлкин, А. Г. Журенков, Д. А. Зайкин, В. Ю. Занин, А. И. Захаров, Д. Л. Зверев, И. М. Злодеев, В. М. Иванов, А. В. Ильин, В. Н. Илюхин, А. В. Инзарцев, С. Н. Кадетов, М. А. Казанцев, Г. Ю. Калинин, В. А. Карташев, И. Ю. Квардаков, Л. В. Киселев, П. А. Ключко, В. В. Коваленко, И. В. Кожемякин, В. С. Комаров, Ю. М. Коновалов, В. В. Костенко, С. М. Кошель, А. В. Краморенко, А. Б. Крестьянцев, А. С. Кудрявцев, Ю. И. Кузьмин, Ю. Л. Кузьмин, В. П. Леонов, А. А. Логунова, Б. А. Лускин, В. А. Малышевский, В. Л. Мартынов, Ю. В. Матвиенко, Ж. В. Матвиенко, И. А. Мельников, И. И. Микушин, А. Н. Мильто, В. И. Михайло, Ю. Б. Могути, Г. П. Мотасов, И. А. Мохов, С. М. Неевин, Б. А. Нерсесов, С. Л. Никифоров, А. П. Новожилов, С. В. Ольховский, В. В. Орлов, А. С. Орыщенко, А. Г. Островский, Н. Б. Павлов, В. И. Полуничев, А. В. Почекаев, В. А. Попов, А. А. Проняшкин, И. А. Путинцев, Н. А. Римский-Корсаков, Б. Я. Розман, М. С. Руденко, М. Г. Рубцов, Н. И. Рылов, А. М. Сагалеви, А. А. Сахаров, И. А. Селезнев, П. В. Серый, Д. О. Семенов, Е. В. Семенов, Л. А. Смыслова, В. Д. Смирнов, Г. М. Соколов, Л. Б. Соколов, Р. В. Соколов, А. В. Суворов, К. Ю. Сухов, Н. В. Тамилинов, О. В. Таровик, А. В. Тарханов, Е. И. Татаренко, А. В. Ткачев, А. Г. Топаж, С. В. Травин, А. С. Трофимов, В. С. Трясунов, К. П. Урываев, Б. Г. Ушаков, Ю. П. Фадеев, В. Ф. Филаретов, М. В. Флинт, А. А. Форст, А. Г. Храмов, Е. В. Чудаков, Р. И. Чумаров, Ю. В. Шамалов, Э. В. Шевченко, В. Н. Щетинин, Д. А. Юхимец, В. А. Юхнин

Издательский дом «Оружие и технологии»

Главный редактор
Генеральный директор
Выпускающий редактор
Дизайн и компьютерная верстка
Литературный редактор

Николай Спасский
Сергей Осинин
Игорь Обухов
Екатерина Комарова
Елена Рычкова

Адрес редакции: 117519, г. Москва, ул. Кировоградская, д. 1.
Тел./факс: +7 (495) 312-86-71,
[http: www.arsenalrus.ru](http://www.arsenalrus.ru), e-mail: id.orteh@mail.ru

072 Освоение морских глубин. — М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. — 468 с., илл.

ISBN 978-5-93799-070-9

УДК 629.58(091)

ББК 39.427.5г

© Организации и предприятия (текст и иллюстрации), 2018-01
© Издательский дом «Оружие и технологии» (оформление и дизайн), 2018

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЗАДАЧ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ И МЕТОДОВ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИХ ДВИЖЕНИЕМ

В. Ф. ФИЛАРЕТОВ, Д. А. ЮХИМЕЦ,
Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

Появились перспективные проекты создания роботизированных комплексов по добыче минеральных полезных ископаемых.

5. Другие области: обследование подводных частей корпусов кораблей и судов в сложной обстановке, про-

кладка подводных коммуникаций, обследование атом-

ных станций, поиск и обследование затонувших объек-

тов, использование в целях рыбохозяйственной отрасли.

Как видно из представленной классификации, боль-

шинство подводных операций, выполняемых НПА, можно

условно разделить на две большие группы.

К первой группе относятся операции, требующие

выполнения подводными аппаратами точных перемеще-

ний близ объектов работ.

Ко второй группе можно отнести операции, требую-

щие точного перемещения с высокой скоростью (более

1 м/с) по криволинейным гладким и достаточно протя-

женным просторным траекториям.

Точность выполнения подводных операций НПА в зна-

чительной степени зависит от качества их систем управ-

ления (СУ).

Ниже рассмотрены наиболее перспективные задачи

использования подводной робототехники и проблемы,

которые необходимо решить в процессе создания их СУ.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЗАДАЧ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

1. Использование подводной робототехники для

решения научно-исследовательских задач.

Одной из наиболее важных областей применения

подводной робототехники является исследование

Мирового океана. В этой области можно выделить следую-

щие основные типы задач.

а) *Океанографические исследования.*

К ним относятся:

— картографирование дна;

— сбор данных о физических и химических свойствах

Мирового океана (построение карт температур, солено-

сти, акустических свойств и т. д.).

Выполнение указанных работ включает покрытие

заданной акватории прямыми траекториями

(галсами) и сбор различной информации. Пример выпол-

нения операции картографирования и типичная траекто-

рия, по которой движется АНПА в процессе выполнения

работы по радиолокационной борье (гидроакустическом

использовании; использование в качестве противо-

зачины оборонного значения: поисковые и аварий-

Зачины оборонного значения: поисковые и аварий-

Мониторинг подводной окружающей среды: долго-

Научные исследования: картографирование релье-

пользование НПА. Среди них можно выделить сле-

настоящее время уже определялся основной круг

настоящее время уже определялся основной круг

настоящее время уже определялся основной круг

настоящее время уже определялся основной круг

настоящее время уже определялся основной круг

настоящее время уже определялся основной круг

этих работ, показаны на рис. 1. Выполнение таких операций наиболее эффективно с помощью группы совместно действующих автономных НПА (АНПА). Это позволяет существенно снизить время, а следовательно, и стоимость выполнения работ.

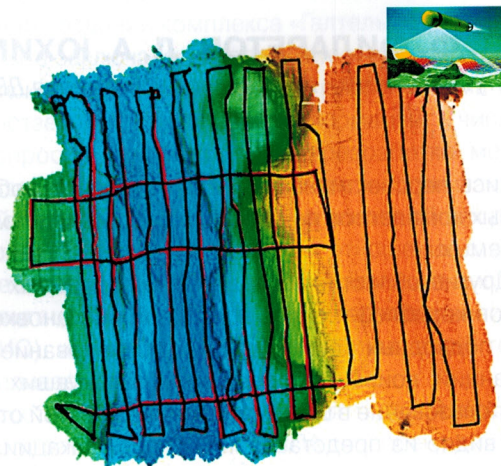


Рис. 1. Картографирование дна с помощью АНПА и типовая траектория его движения

Перспективной задачей является создание мобильных комплексов, состоящих из базовой платформы-носителя и группы АНПА, которые позволяют проводить долговременные исследования заданного района Мирового океана в автоматическом режиме с периодическим пополнением и восстановлением запасов энергии.

б) Мониторинг биоресурсов. Эта задача предполагает использование подводной робототехники для определения влияния деятельности человека на экологию Мирового океана и его отдельных районов.



Рис. 2. Работа АНПА при исследовании коралловых рифов

Для ее реализации необходимо обеспечить точное движение АНПА вблизи дна, максимально используя возможности бортовых видеокамер. Особую сложность представляет исследование коралловых рифов. При исследовании пересеченного рельефа дна АНПА должны обладать высокоточными СУ, которые обеспечивают их движение вдоль поверхности коралловых рифов без столкновений с ними (рис. 2).

в) Подводная археология. Эти работы включают поиск в заданном районе Мирового океана предметов, представляющих историческую ценность. Указанная работа сходна с задачами картографирования. Ее отличие заключается лишь в необходимости обнаружения (выделения) соответствующих объектов на фоне дна, используя их характерные признаки.

Перспективной задачей подводной археологии является использование групп АНПА для быстрого обследования больших участков акваторий (рис. 3).

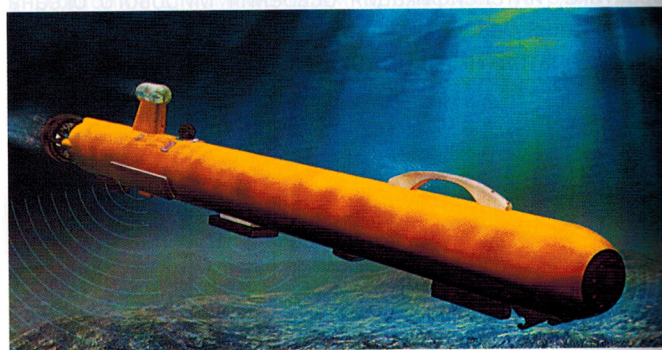


Рис. 3. Использование АНПА в подводной археологии

2. Использование подводной робототехники для решения оборонных задач.

По аналитической оценке исследовательской компании Douglas-Westwood, доля военных образцов в подводной робототехнике превышает 50%, предполагается дальнейшее ее увеличение.

Использование подводной робототехники в военных целях обусловлено:

- а) выполнением диверсионных и противодиверсионных задач;
- б) поиском и обезвреживанием морских мин;
- в) обнаружением и сопровождением кораблей противника;
- г) сбором и передачей различных видов информации.

В настоящее время наибольший интерес представляют автономные подводные роботы для обеспечения решения задач.

а) Противоминная оборона, включающая выполнение с помощью АНПА следующих миссий (рис. 4):

- обнаружение, идентификация и локализация мин;
- физическое уничтожение или нейтрализация мин;
- постановка помех системам управления минным оружием.

в) Мобильный узел коммуникационной/навигационной/сенсорной сети.

Перспективное развитие операций этого типа идет по пути использования групп АНПА с целью создания мобильных навигационных сетей, обеспечивающих связь с различными подводными платформами на большой территории.

г) Защита кораблей и портовых сооружений.

Этот тип операций включает инспектирование подводной части кораблей и портовых сооружений с целью обнаружения взрывных или следящих устройств. В настоящее время указанные операции производятся с помощью подводных аппаратов. Но, как показывает практика, АНПА могут выполнять их более эффективно. Развитие АНПА, предназначенных для выполнения этих миссий, идет по пути улучшения распознавания и локализации посторонних объектов. Это предполагает наличие высокоточных СУ, обеспечивающих обход обнаруженных объектов на небольшом расстоянии, исключающем столкновение с ними. Помимо перечисленных миссий важными задачами для АНПА могут быть ведение разведки и наблюдения, доставка грузов и водоплавающих в нужные акватории, океанографические работы, поиск и спасение затонувших подводных лодок и водолазов.

Анализ перспективных задач, стоящих перед военной подводной робототехникой, показывает, что развитие АНПА идет в сторону их интеллектуализации, большей автономности при выполнении различных миссий, а также к широкому использованию групп АНПА. При этом в процессе выполнения большинства операций в составе групп АНПА должны с высокой скоростью двигаться по сложным траекториям в заданном строю. Это требует высокой точности их движения по задаваемым траекториям с целью исключения столкновений между ними.

3. Использование подводной робототехники при добыче полезных ископаемых.

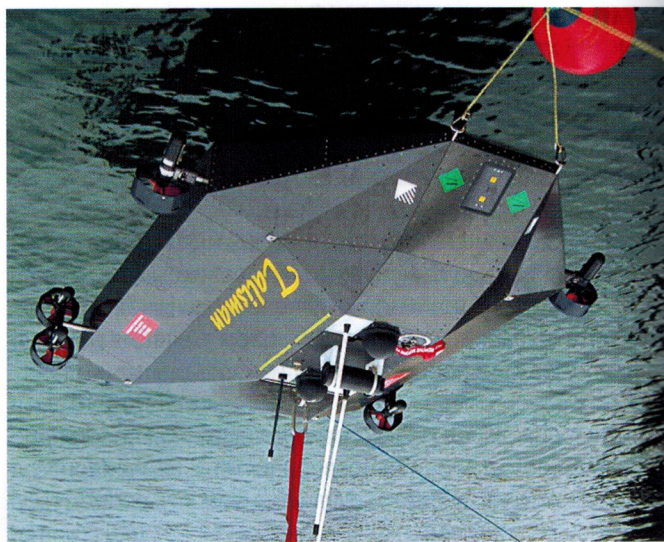
Наиболее важным двигателем развития коммерческой подводной робототехники является освоение шельфовых месторождений полезных ископаемых. В настоящее время основными видами полезных ископаемых, добываемых в Мировом океане, являются углеводороды: нефть и природный газ. В мире существуют более 6000 стационарных и 175 плавающих нефтедобывающих платформ. Для работы этих платформ используются сложная и разветвленная подводная инфраструктура, пример которой показан на рис. 6.

Инфраструктура подводных добывающих комплексов в настоящее время содержит 175 000 км трубопроводов, 2300 подводных скважин и 650 шельфовых буровых установок. Она требует проведения обслуживающих работ, которые включают в себя:

а) периодические обследования состояния устройств и механизмов подводной инфраструктуры;

б) выполнение технологических операций с оборудованием (открытие/закрытие клапанов, сварка, резка и т. д.), которые проводятся по мере надобности;

Рис. 4. АНПА — обнаружитель мин



Развитие АНПА указанного типа идет по пути увеличения их маневренности и скорости движения, а также точности определения и идентификации мин. Практика показала, что для эффективного использования таких АНПА при обезвреживании минного оружия в их состав должен входить многофункциональный манипулятор (ММ).

б) Противолодочная оборона, когда АНПА являются средством обнаружения и отслеживания подводных лодок, а также средств их уничтожения (рис. 5). В настоящее время разработано несколько сценариев применения АНПА в качестве противолодочного оружия:

1) «Ограничение риска» — патрулирование подходов к портам для устранения проходов к ним вражеских подводных лодок;

2) «Морской щит» — обеспечение безопасного действия групп кораблей в заданной области;

3) «Безопасный проход» — обеспечение безопасного прохода групп кораблей по заданному маршруту.

Исследования показали, что при использовании АНПА в качестве противолодочного оружия наиболее важными групповыми действиями являются:

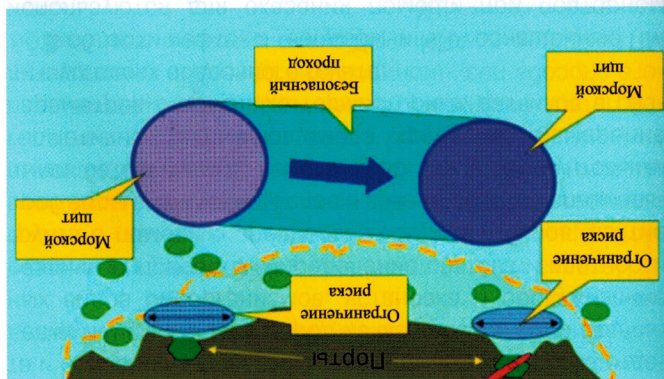


Рис. 5. Сценарии использования АНПА в качестве противолодочного оружия

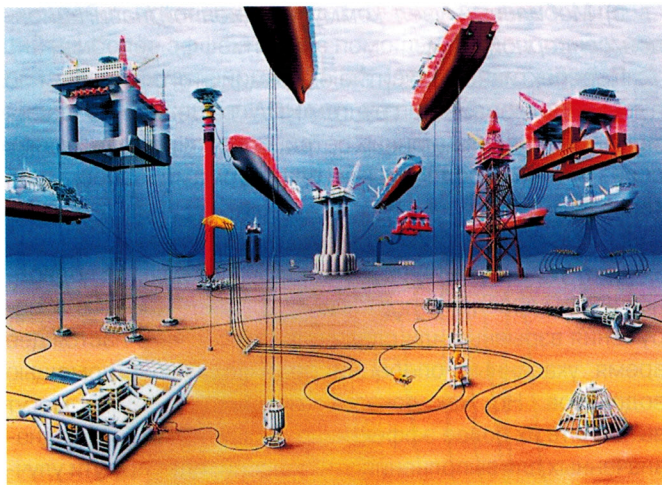


Рис. 6. Подводная инфраструктура комплекса по добыче полезных ископаемых

в) ремонт оборудования, который может включать в себя замену неисправных блоков.

Общепринятый способ выполнения этих работ заключается в использовании водолазов, если объекты работ находятся на глубинах не более 150 м, и телеуправляемых НПА (ТНПА), если объект работ располагается на больших глубинах. Пример выполнения обслуживающей операции с помощью ТНПА показан на рис. 7.

Однако в настоящее время наметилась тенденция более активного использования АНПА, не требующих обеспечивающих судов. При этом все большую актуальность приобретают робототехнические комплексы, используемые на больших глубинах.

Кроме нефте- и газодобычи на шельфе в последнее время начала активно обсуждаться проблема добычи других минеральных ресурсов с глубиной их залегания до 6000 м. Это значительно глубже нефтяных месторож-

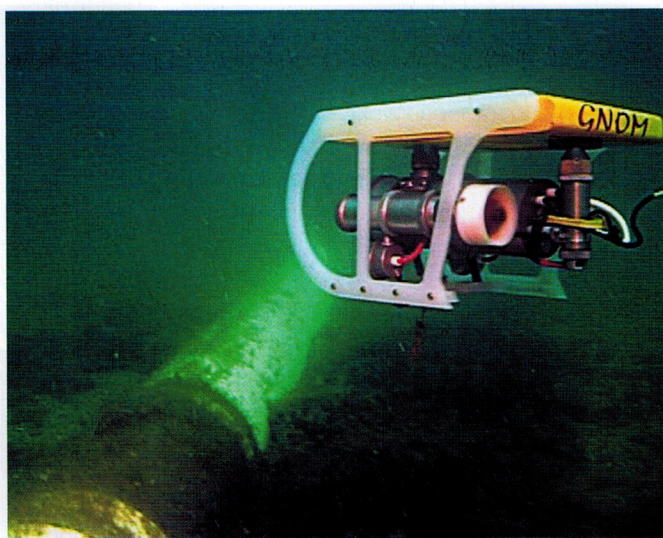


Рис. 7. Выполнение обслуживающих операций с использованием ТНПА

дений. Поэтому реализация таких добывающих комплексов подразумевает большую степень автоматизации, в основном за счет использования АНПА, обладающих расширенными функциональными возможностями и, в частности, наличием:

- а) интеллектуальной навигационной системы, позволяющей выявлять препятствия и обеспечивать их обход;
- б) системы распознавания объектов работ, позволяющей в автоматическом режиме выполнять различные (часто сложные) технологические операции;
- в) эффективной коммуникационной системы;
- г) системы группового управления для быстрого выполнения осмотровых и поисковых операций.

Таким образом, в качестве перспективных работ, выполняемых с помощью подводной робототехники, в области добычи и транспортировки полезных ископаемых можно выделить следующие:

- а) осмотр состояния подводных сооружений и трубопроводов в автоматическом режиме;
- б) выполнение технологических операций с глубоководным оборудованием в автоматическом и супервизорном режиме;
- в) выполнение ремонта технологического оборудования.

Для выполнения этих операций АНПА должны обладать СУ, обеспечивающими их точное движение по различным пространственным траекториям, что особенно важно в осмотровых операциях, проходящих вблизи подводных конструкций и сооружений, а также иметь эффективную систему стабилизации вблизи объектов работ при наличии подводных манипуляторов.

4. Технологические операции, выполняемые НПА с помощью подводных манипуляторов.

Многие перспективные задачи, стоящие перед подводной робототехникой, должны выполняться НПА, оснащенными одним или несколькими подводными манипуляторами. Использование таких НПА призвано заменить тяжелый и опасный труд водолазов. Можно выделить много видов работ, выполняемых с помощью ПМ.

В процессе выполнения гидрогеологических, гидробиологических, геофизических и гидрохимических исследований проводятся селективный отбор проб грунта и образцов геологических пород, механическое отделение и бурение этих пород из монолитов, сбор отдельных видов биоорганизмов, установка и обслуживание различных приборов, определение состава и плотности грунта с помощью специальных щупов и буров, взятие проб воды в придонном слое и взвеси осадков специальными батометрами, взятие проб осадков грунтовыми герметично закрывающимися трубками, измерение параметров с помощью термисторных датчиков в различных слоях осадочного грунта.

В области нефте- и газодобычи НПА оснащенные ПМ используются для оказания помощи при повторном вводе бура в скважину, для взятия проб нефти и газа, при выполнении монтажа и ремонта гидрокommunikаций,

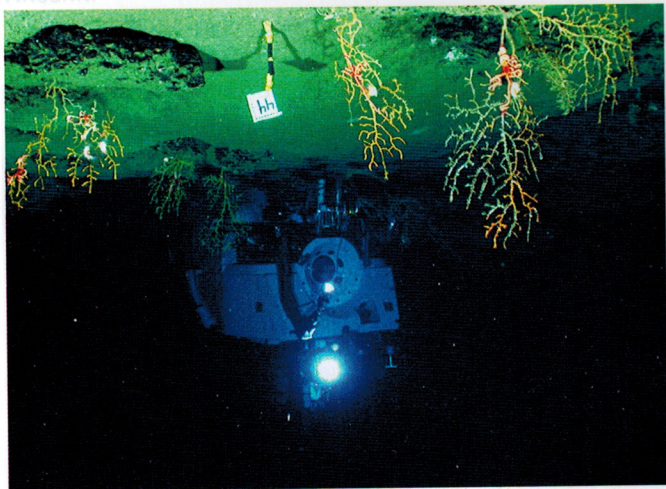


Рис. 8. Пример работы НПА при посадке на грунт

В случаях применения жесткой фиксации НПА на объекте работ используются специальные манипуляторы захвата. Однако этот способ годится в редких случаях, когда форма объекта позволяет осуществить это закреп-

ление.

Жесткая фиксация вблизи объекта работ возможна при постановке НПА на якорь. Но якорные системы требуют введения специального оборудования, которое значительно увеличивает вес и габариты аппарата. При этом процесс постановки НПА на якорь в заданной точке пространства требует больших временных затрат. Кроме того, аппарат, зафиксированный с помощью якоря, практически полностью теряет маневренность в горизонталь-

ной плоскости.

Данный анализ показывает, что режим зависания НПА, создаваемый его двигателями, вблизи объекта работ является наиболее универсальным и может применяться для осуществления многих подводных манипуляционных операций. Режим зависания обеспечивает НПА способность с любой пространственной ориентацией подойти к объектам работ и легко перемещаться, занимая наиболее удобное для выполнения манипуляционных работ положение и не внося возмущений в придонные слои воды. При этом не требуется установка дополнительного оборудования и механических устройств.

Таким образом, эффективное выполнение больших объема работ, рассмотренных перспективных задач с помощью НПА требует обеспечивать их высокоточное движение по сложным пространственным траекториям или высоко-точную стабилизацию вблизи объектов работ при выполнении различных манипуляционных операций. Для этого указанные НПА должны содержать системы управления, способные эффективно решать поставлен-

ные задачи.

и закручивании вентилей, при очистке стальных конструкций от обрастания, при резке тросов, кабелей и др. В процессе выполнения аварийно-спасательных операций с помощью ПМ осуществляются освобождение нто-рулевой группы судов от намотанных сетей и троев, спуска болтов, открытие люков, резка металличес-ких обшивок и др. В военных целях осуществляются постановка и снятие мин, создание проходов в сетевых тиражах, установка взрывных устройств.

Бесма успешно НПА выполняют технологические

подводные операции по очистке дна акваторий от кам-

и и мусора, установке и снятию гидроакстических

якорей, проведению сварочных работ, закреплению тро-

ев, кабелей и другой аппаратуры на подводных объек-

тах, прокладке подводных кабелей, монтажу и демонтажу

звонного подводного оборудования, осмотру подвод-

ных частей судов, гидросооружений и т. д.

Очевидно, что все перечисленные подводные работы

должны быть выполнены только с помощью свободно пере-

мещающихся в подводном пространстве НПА, способных с

лаемой пространственной ориентацией подойти к объ-

ектам работ или исследования и зафиксироваться в задан-

ной точке пространства без посадки на грунт и без взмучи-

вания придонных слоев. Режим зависания в водной среде

является наиболее важным режимом работы НПА, так как

существенное значение имеют манипуляционные операции

практически невозможно без фиксации аппарата вблизи

объекта работ. Прием от точности удержания НПА вблизи

объекта зависят успешность и эффективность выполнения

многих поставленных манипуляционных задач.

Для качественного выполнения указанных сложных

технологических операций закрепленные на НПА подвод-

ные манипуляторы должны иметь не менее шести степе-

ней подвижности, позволяющих их рабочим инструмен-

там перемещаться с любой пространственной ориента-

цией в любую точку рабочей зоны. При этом НПА и ПМ

должны обладать необходимой мощностью и грузоподъ-

мностью.

Удержание НПА с заданной ориентацией вблизи объ-

ектов работ для эффективного выполнения манипуляци-

онных операций возможно следующими способами:

— посадка НПА на грунт,

— закрепление якорями,

— фиксация с помощью дополнительных манипулято-

нов-захватов.

Посадка НПА на грунт часто осложняется наличием

пластичности или выступающих предметов, а также

ложность рельефа дна (рис. 8). При использовании

анного способа в большинстве случаев происходит

ммулирование придонных слоев, приводящее к дитель-

ной потере видимости. Более того, использование дан-

ного способа позиционирования приводит к недопусти-

мо большим потерям рабочего времени при частой

мене положения НПА.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Для эффективного выполнения перспективных миссий необходимо разрабатывать НПА новых типов, которые имели бы возможность автономного выполнения различных технологических операций. Судя по опубликованным материалам, развитие подводной робототехники в настоящее время происходит преимущественно по следующим направлениям:

а) создание НПА с высокой степенью автономности для качественного выполнения сложных подводных операций;

б) создание НПА, способных выполнять длительные миссии;

в) создание подводных робототехнических комплексов, состоящих из нескольких совместно действующих НПА, выполняющих общую миссию.

В настоящее время наметилась тенденция быстрого перехода к АНПА нового типа, выполняющим сложные подводные технологические операции, которые ранее могли быть выполнены только с помощью телеуправляемых НПА (ТНПА) при непосредственном участии оператора.

К серийно выпускаемым аппаратам нового типа можно отнести АНПА Marlin компании Lockheed Martin (рис. 9).

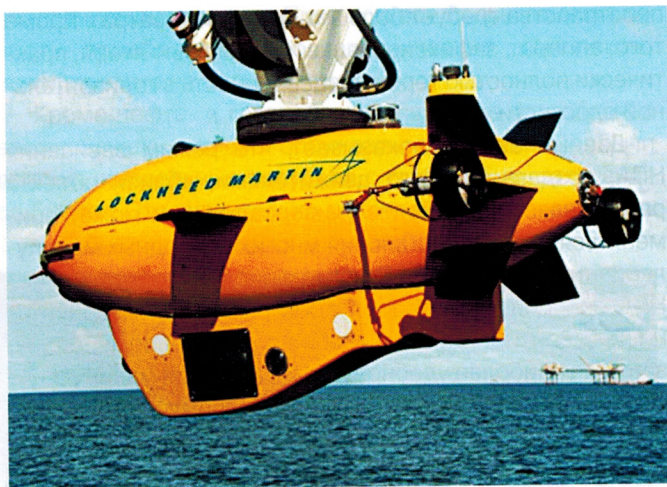


Рис. 9. АНПА Marlin компании Lockheed Martin

Аппарат предназначен для проведения обследований подводной части нефтедобывающих платформ и других сооружений, а также для построения высококачественных 3D-моделей этих объектов. Выполнение указанных миссий происходит в автономном режиме и в несколько раз быстрее и надежнее, чем при использовании ТНПА. Движение АНПА происходит с большей скоростью, точнее и по удобным траекториям. Возвращение аппарата на базу осуществляется в автономном режиме.

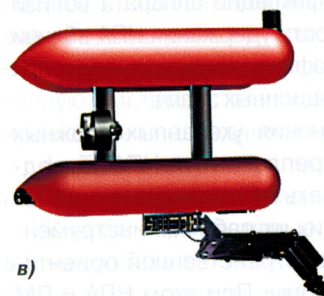
Постановка на АНПА многозвенных ПМ позволяет существенно расширить область их применения, решая, кроме обследовательских, и более сложные задачи — сбор образцов, управление технологическим оборудованием и т. д. Примером таких АНПА служат перспективные разработки ALIVE, SAUVIM, RAUVI и другие, внешний вид которых показан на рис. 10.



а)



б)



в)

Рис. 10. АНПА, предназначенные для выполнения сложных подводных технологических операций:

а) ALIVE, б) SAUVIM, в) RAUVI

Для выполнения этими АНПА сложных технологических операций требуется наличие на их борту высокоточных СУ, способных с использованием данных, получаемых от бортовых датчиков, формировать траектории их движения вблизи объектов работ в заранее неизвестном окружении, а также обеспечивать точное движение по этим траекториям без столкновений с препятствиями.

Решение задачи создания НПА, способных выполнять длительные миссии, в настоящее время идет двумя путями. Первый путь предполагает создание АНПА с минимальным потреблением энергии в процессе выполнения миссии, второй — создание робототехнических комплексов, включающих надводный носитель или базу, имеющих большой запас автономности, а также один или несколько НПА, которые периодически стыкуются с носителем для подзарядки энергией и получения новых заданий. Примерами развития этого пути являются подводные глайдеры (рис. 11а).

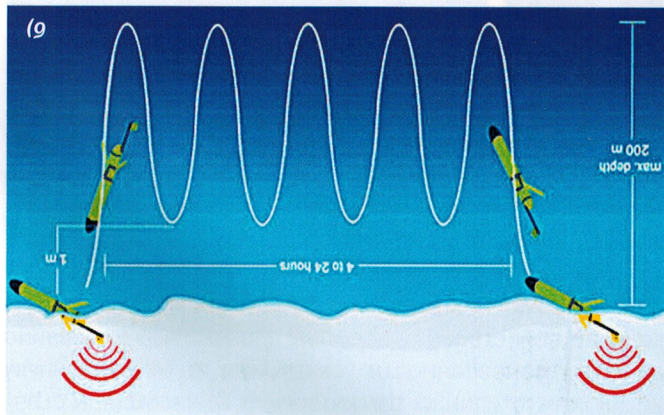
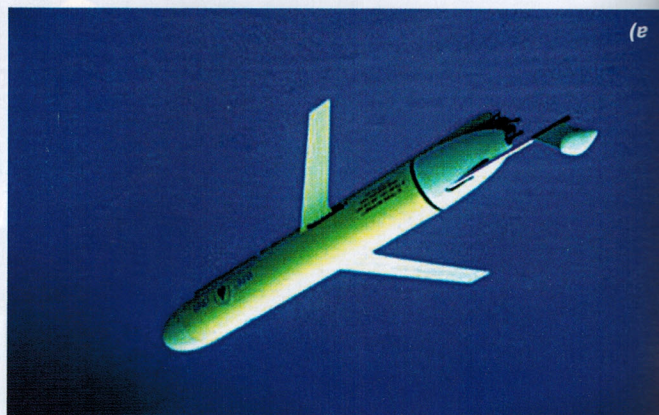


Рис. 11. Подводный глайдер: внешний вид (а) и типичная траектория его движения (б)

Примером перспективного комплекса, состоящего из надводного носителя и АНПА, может служить комплекс Spartan компании Northrop Grumman. В состав комплекса входит надводный носитель, который в автономном режиме доставляет АНПА к месту выполнения очередной миссии (рис. 12). В Дальневосточном федеральном университете разработан морской автономный робототехнический комплекс, состоящий из надводного носителя и малогабаритного АНПА «МАРК» (рис. 13). Надводный носитель используется не только для доставки аппарата в район выполнения миссии, но и для обеспечения его навигационной информацией в процессе работы.

Движение глайдеров осуществляется за счет изменения их плавучести, что требует гораздо меньших затрат энергии, чем традиционный способ передвижения АНПА с помощью двигателей. Глайдер совершает движение по траекториям, близким к гармоническим, в вертикальной плоскости. Амплитуда этих траекторий может достигать нескольких километров. В верхних точках траекторий глайдер всплывает на поверхность и по спутниковой связи передает собранную информацию в центр связи (рис. 11б). Главными достоинствами глайдеров являются их большой радиус действия и относительная, по сравнению с традиционными АНПА, дешевизна.

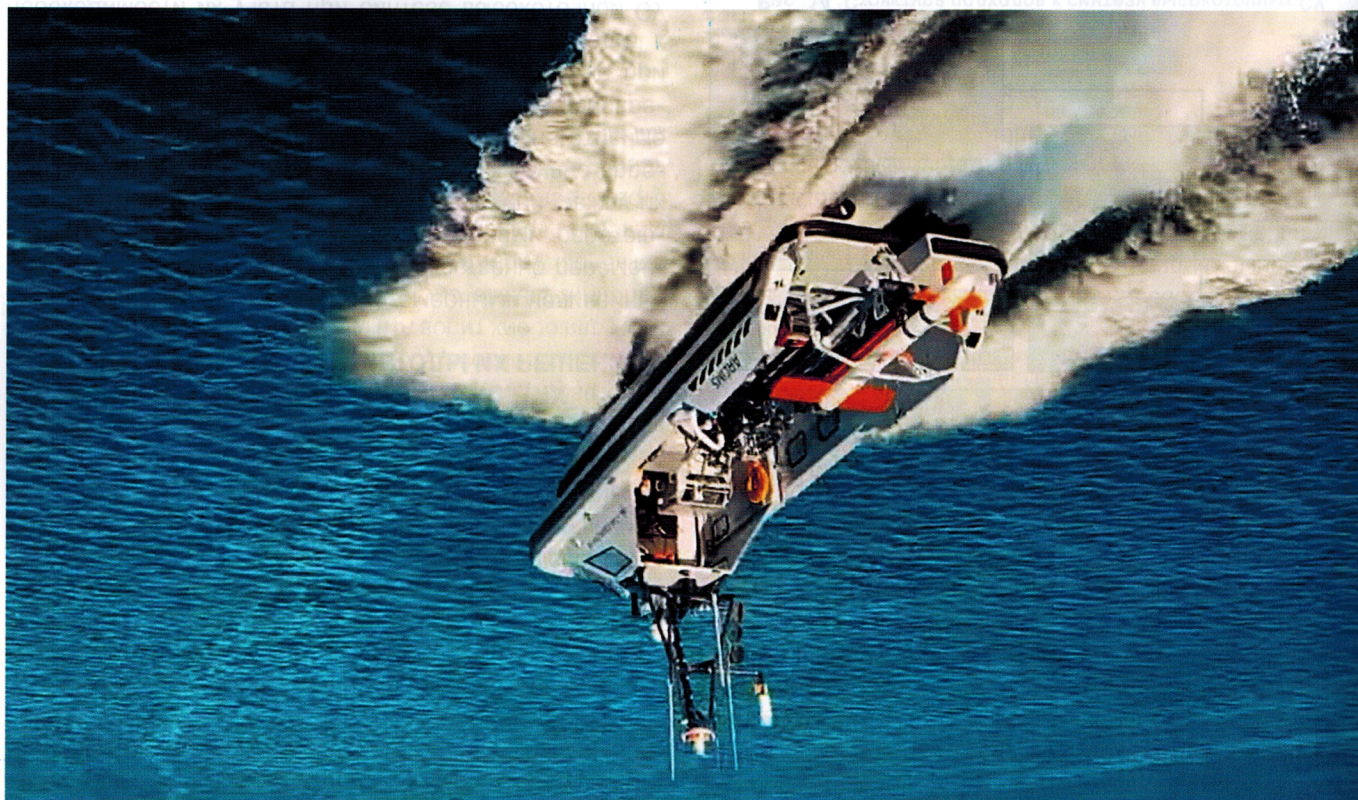


Рис. 12. Внешний вид робототехнического комплекса (надводный носитель + АНПА)

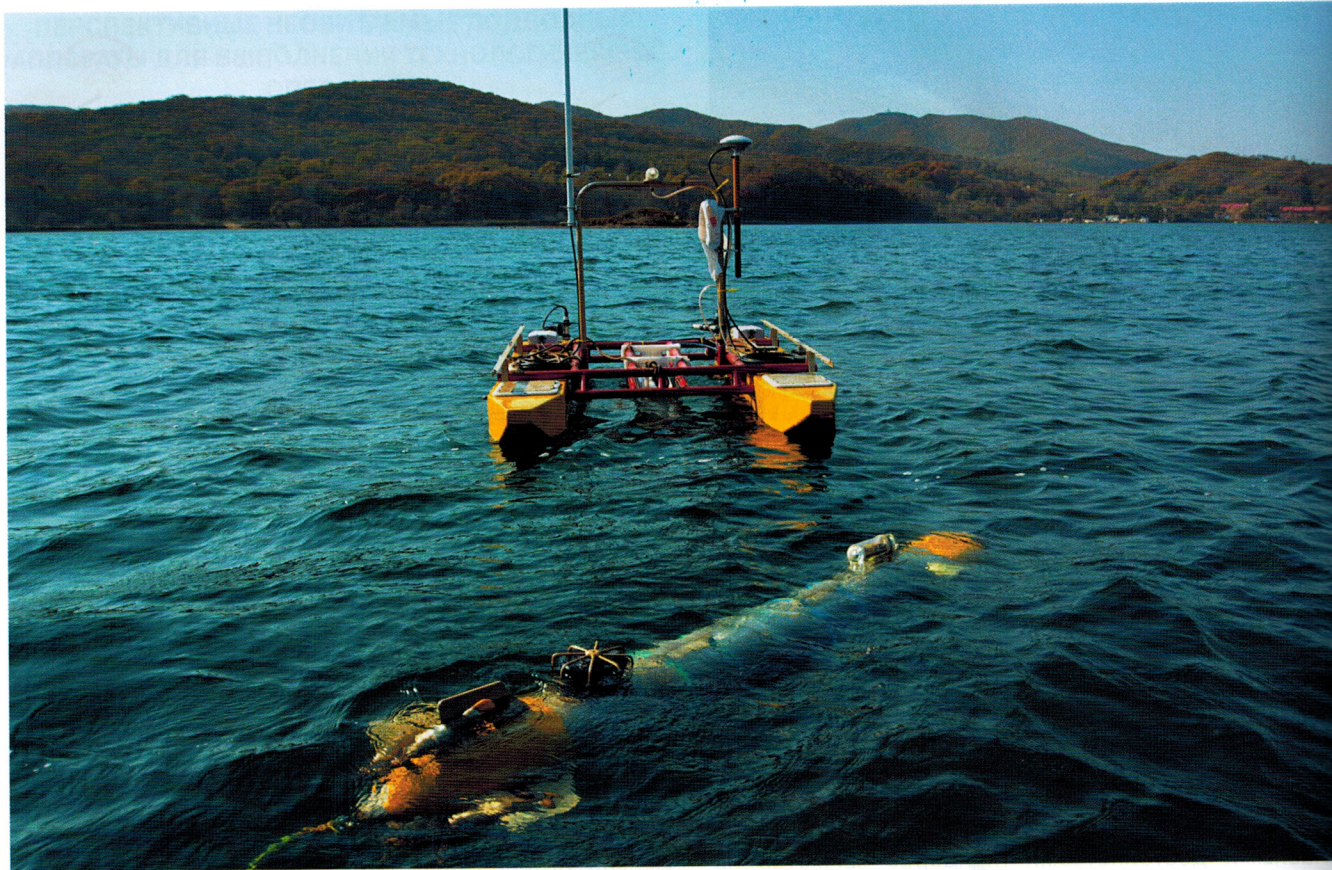


Рис. 13. Морской автономный робототехнический комплекс с АНПА «МАРК»

Создание комплексов, содержащих группы АНПА, требует использования распределенных информационно-управляющих систем (ИУС), координирующих их совместные действия и перераспределяющих задачи между ними в случае, когда какой-либо АНПА выходит из строя или запланированное время выполнения текущей работы меняется. Для обеспечения высокого качества функционирования таких аппаратов требуется разработка СУ, обеспечивающих их точное и быстрое перемещение по сложным траекториям в процессе выполнения различных операций.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СИНТЕЗЕ СУ АНПА, И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

АНПА являются сложными многомерными нелинейными динамическими объектами с существенно переменными и часто неопределенными параметрами, работающими в условиях постоянных взаимовлияний между их степенями свободы при наличии внешних трудно определяемых возмущений. Причем указанные негативные эффекты резко возрастают при движении АНПА одновременно по нескольким степеням свободы, а также при увеличении скорости этого движения, что приводит к необходимости их учета при синтезе высокоточной СУ для высокоскоростного движения АНПА.

Исследования, проведенные в лаборатории робототехнических систем Института автоматики и процессов управления ДВО РАН в области проектирования СУ АНПА, позволили создать новые подходы к решению проблемы синтеза высокоточных систем управления движением АНПА по сложным пространственным траекториям. подходы отображены в структурной схеме (рис. 14).

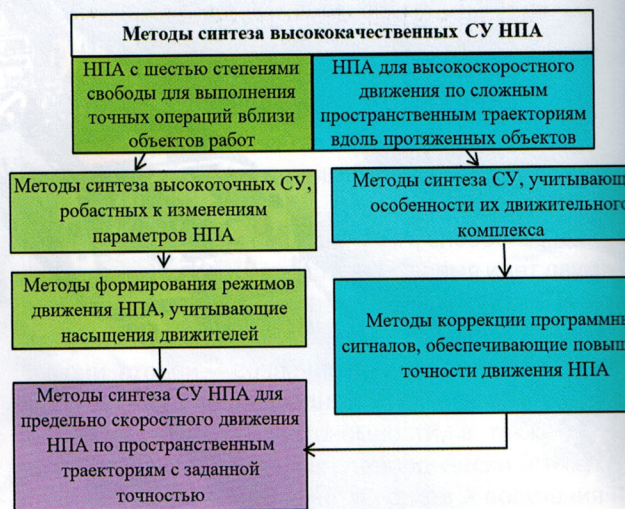


Рис. 14. Структура подходов к синтезу высокоточных СУ АНПА для высокоскоростного движения АНПА

ности конструкции их движительных комплексов и организации маневренности, связанные с ограниченным количеством степеней свободы. Однако использование более простых СУ приводит к значительному снижению точности работы при увеличении скорости движения НПА по просторанственным траекториям.

Поэтому для повышения точности движения указанных НПА по криволинейным траекториям необходимо разрабатывать новые методы формирования программных сигналов движения, отработка которых с помощью простых СУ даже с большой ошибкой все равно обеспечит движение этих аппаратов по просторанственным траекториям с заданной точностью.

Обзор перспективных задач, выполняемых с помощью подводной робототехники, показывает, что расширение зоны использования НПА происходит во всех областях освоения Мирового океана. При этом уже сейчас прослеживаются необходимые тенденции повышения степени автоматизации подводных операций. То есть операции, традиционно выполняемые с помощью ТНПА, интенсивно заменяются АНПА, работающими в автоматическом или суперавтоматическом режиме. Кроме того, прослеживается тенденция эффективного использования групп АНПА для выполнения многих миссий, что позволяет решать принципиально новые подводные задачи (особенно в военной и промышленной областях). При этом в процессе выполнения указанных операций АНПА должны точно перемещаться по сложным просторанственным траекториям без столкновений между собой и с объектами работ.

Решение многих подводно-технических задач предлагается осуществлять с помощью двух групп методов. Первая группа предназначена для АНПА, имеющих сложную форму и оснащенных системами управления высокой точности, независимыми от взаимодействия с окружающей средой и от взаимовлияний между всеми стенками свободы. В этом случае указанные АНПА смогут совершать точные и сложные маневры вблизи объектов работ, избегая столкновений с ними. Ко второй группе относятся методы синтеза СУ для управления движением АНПА, имеющих обтекаемую форму и предназначенных для быстрых движений вдоль протяженных просторанственных траекторий. Для этих аппаратов можно использовать относительно простые СУ. Но при этом для обоих типов АНПА в их СУ предполагается вводить дополнительные системы формирования программных сигналов, гарантирующие достижение заданной длины движения, точности их движения по любым гладким просторанственным траекториям с учетом реальных ограничений мощности используемого движителя ком-

Из представленной схемы видно, что проблема создания высокоточного и высокоскоростного управления НПА с целью обеспечения их наибольшей эффективности может решаться с помощью двух направлений для двух видов аппаратов.

Первое направление обеспечивает создание высокоточных СУ для НПА, имеющих сложную форму и движительный комплекс, формирующий их движение сразу по всем степеням свободы. Эти НПА, показанные на рис. 10, предназначены для выполнения сложных операций вблизи объекта работ.

НПА указанного типа часто используются для выполнения различных технологических операций (ремонт подводных сооружений, резка, сварка и т. д.) с помощью становленных на них манипуляторов. При этом режим зависания НПА в водной среде при работающей ПМ должен обеспечиваться специальными системами стабилизации, которые позволяют удерживать эти НПА в заданной точке просторанства с заданной ориентацией, несмотря на любые возмущающие воздействия со стороны окружающей водной среды, а также силовые и моментные воздействия со стороны работающего с высокой скоростью ПМ.

Вторым направлением является синтез простых СУ для НПА, имеющих обтекаемую форму и выполняющих движение по протяженным просторанственным траекториям. При этом движительный комплекс таких аппаратов обеспечивает им движение по ограниченному количеству степеней свободы. Пример такого НПА показан на рис. 15.

Указанные особенности таких НПА обеспечивают им свободу, что позволяет для их управления использовать простые СУ, содержащие только линейные регуляторы. При этом СУ указанных НПА должны учитывать особен-

Рис. 15. НПА, предназначенный для движения по протяженным траекториям



ОСВОЕНИЕ МОРСКИХ ГЛУБИН

Издательский дом «Оружие и технологии»

117519, г. Москва, ул. Кировоградская, д. 1.

Тел./факс: +7 (495) 312-86-71,

[http: www.arsenalrus.ru](http://www.arsenalrus.ru),

e-mail: id.orteh@mail.com

Подписано в печать 27.02.2018 г. Печать офсетная.

Бумага мелованная, 130 гр./кв.м. Гарнитура PragmaticaC.

Формат 60х90/8. Усл. печ. листов 58,5. Заказ № 1588/18

Отпечатано в соответствии с представленными материалами

ООО «ИПК Парето-Принт», г. Тверь, www.pareto-print.ru



ОСВОЕНИЕ МОРСКИХ ГЛУБИН

Морские научные исследования направлены на получение системных знаний о Мировом океане и его использовании, всех аспектах природных и техногенных процессов, происходящих на его дне и в недрах, в водной толще, на поверхности и в атмосфере над ним, на антропогенных объектах в Мировом океане в интересах обеспечения устойчивого развития и национальной безопасности Российской Федерации.

*Морская доктрина
Российской Федерации*

ISBN 978-5-93799-070-9



9 785937 990709



Издательский дом
«ОРУЖИЕ И ТЕХНОЛОГИИ»