

УДК 62-519

*С.А. Половко, П.К. Шубин, В.И. Юдин*  
*Санкт-Петербург, Россия*

## **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РОБОТИЗАЦИИ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ**

*S.A. Polovko, P.K. Shubin, V.I. Yudin*  
*St.-Petersburg, Russia*

### **A CONCEPTUAL ISSUES ROBOTIZATION MARINE ENGINEERING**

Рассмотрены научно обоснованные концепции настоятельной необходимости роботизации всех работ, связанных с морской техникой, призванной вывести человека из зоны повышенного риска, повысить функциональные возможности, оперативность и производительность морской техники, а также разрешить стратегический конфликт между усложнением и интенсификацией процессов управления и обслуживания техники и ограниченными возможностями человека.

МОРСКАЯ ТЕХНИКА. РОБОТЫ. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ. РОБОТИЗАЦИЯ. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПРОГРАММА.

The article describes the concept of evidence-based robotics urgent need of all work related to marine technology, designed to bring people from high-risk areas, to improve the functionality, flexibility and performance marine applications and enable strategic conflict between complexity and intensification of management and maintenance of equipment and disabled person.

MARINE ENGINEERING. ROBOT. ROBOT SYSTEMS. ROBOTIZATION. STATE PROGRAM.

В качестве принципиальных, концептуальных вопросов научно обоснованной роботизации морской техники (МТ) целесообразно рассмотреть прежде всего вопросы, непосредственно вытекающие из причин необходимости роботизации. То есть причин, по которым объекты МТ становятся объектами внедрения роботов, робототехнических комплексов (РТК) и систем. Здесь и в дальнейшем под РТК понимается совокупность робота и пульта управления им, а под робототехнической системой – совокупность РТК и объекта его носителя.

Роботы, как свидетельствует опыт их создания и применения, внедряются в первую очередь там, где труд человека и его жизнедеятельность затруднены, невозможны или сопряжены с угрозой для жизни и здоровья. Например, это имеет место в зонах радиоактивного или химического загрязнения, в условиях боевых действий, при проведении подводных или космических исследований, работ и т. п.

Применительно к морской деятельности это прежде всего:

глубоководные исследования;

водолазные работы на больших глубинах;  
подводно-технические работы;  
аварийно-спасательные работы;  
поисково-спасательные работы в неблагоприятных гидрометеороусловиях (ГМУ);  
добыча сырья и полезных ископаемых на шельфе.

Применительно к военной области:  
противоминная и противодиверсионная оборона;  
разведка, поиск и слежение;  
участие в боевых действиях и их обеспечение.

Таким образом, практически весь спектр объектов: от подводной МТ (водолазная техника, обитаемые подводные аппараты – ОПА, подводные лодки – ПЛПЛ, техника освоения шельфовой зоны мирового океана), надводной (корабли, суда, катера) до воздушной МТ (летательные аппараты – ЛА) являются объектами роботизации, т. е. представляют собой объекты, подлежащие внедрению на них роботов, РТК и систем.

Причем с той или иной степенью риска для жизни человека сопряжена не только работа вне

объекта МТ, за бортом, на глубине (водолазный труд), но и работа непосредственно на морском объекте [1]. Очевидно, что очередность роботизации должна быть напрямую связана с величиной риска для жизни персонала (членов экипажа). Количественно величина риска может быть измерена статистической или прогнозной (расчетной) вероятностью смерти человека в зависимости от вида деятельности в год [год<sup>-1</sup>], как это показано в [2] на основе статистических данных и данных литературных источников.

Примем к рассмотрению три уровня риска, представленные на рисунке, в зависимости от вида деятельности и источника риска по данным [3]. Чем выше величина риска, тем ближе данный вид деятельности человека (и соответствующий ему вид техники) к началу очереди на роботизацию. Имеется в виду первоочередное создание роботизированных зон как вне, так и внутри объектов МТ, зон функционирования роботов, с целью удалить человека из зоны повышенного риска.

Пусть  $n_i$  – порядковый номер в очереди на роботизацию данного ( $i$ -го) объекта МТ, а  $r_i$  – соответственно, вероятность гибели членов экипажа  $i$ -го объекта МТ в год. Тогда для оценки очередности роботизации можем получить:

$$n_i = 1 + \dot{\eta}(r_i); i(1, L), \quad (1)$$

где  $\dot{\eta}(r_i)$  – ступенчатая функция от величины риска:

$$\begin{aligned} \dot{\eta}(r_i) &= 0, \text{ при } r_i \geq r_{\text{нур}} = 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \\ \dot{\eta}(r_i) &= 1, \text{ при } r_{\text{нур}} > r_i \geq r_{\text{пду}} = 10^{-4} \text{ год}^{-1}; \\ \dot{\eta}(r_i) &= 2, \text{ при } r_{\text{пду}} > r_i \geq r_{\text{ппу}} = 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \\ \dot{\eta}(r_i) &= 3, r_i < r_{\text{ппу}}. \end{aligned}$$

Оценивая требуемую степень роботизации  $i$ -го объекта МТ ( $S_i^m$ ), необходимо ориентироваться прежде всего на степень сокращения численности персонала в зоне деятельности с повышенным риском, которая полагается пропорциональной степени превышения  $r_i$  над  $r_{\text{пду}}$  в следующем виде:

$$S_i^m = 1 - r_{\text{пду}} r_i^{-1}. \quad (2)$$

Оценка доли персонала от общей исходной численности его ( $N_i$ ) на  $i$ -м объекте морской техники, остающейся после внедрения РТК, будет иметь следующий вид:

$$N_i^{\text{роб}} = [(1 - S_i^m)N_i]. \quad (3)$$

Степень роботизации, т. е. степень внедрения РТК с целью замены персонала  $i$ -го объекта МТ,

можно оценивать в процентном отношении в следующем виде:

$$S_i = (N_i - N_i^{\text{роб}})N_i^{-1} \cdot 100 \%. \quad (4)$$

Из (2) очевидно следует, что при  $r_i \geq r_{\text{нур}} \rightarrow S_i^m \geq 90,0 \%$ . То есть практически весь персонал должен быть удален с данного объекта (из данной зоны) и заменен РТК.

Принцип замены человеческого труда на роботизированный в зонах повышенной опасности является безусловно главенствующим, что подтверждается активным внедрением подводных роботов – необитаемых подводных аппаратов (НПА). Однако он не исчерпывает всех потребностей во внедрении РТК в морское дело.

Следующими по степени значимости необходимо признать принципы расширения функциональных возможностей морской техники, роста оперативности и производительности работ за счет внедрения морских роботов (МР), РТК и систем. Так, при замене тяжелого водолазного труда, например, в случае осмотра, обследования или ремонта объектов под водой (на грунте) подводным роботом, расширяются функциональные возможности, растет оперативность и производительность работ [4]. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) в качестве спутников ПЛ существенно расширяет боевые возможности и повышает боевую устойчивость ПЛ [5]. Активная разработка и применение безэкипажных катеров (БК) и судов (БС), а также беспилотных ЛА (БПЛА) за рубежом, также свидетельствует о перспективности роботизированной МТ. Действительно, даже при прочих равных условиях исключается риск потери экипажа объекта МТ при работе в сложных ГМУ. В целом можно говорить о сравнительно высокой эффективности (полезности) морских роботов (НПА, БК, БС, БПЛА) при сравнительно невысокой стоимости [6].

Следующим концептуальным вопросом в проблеме научно обоснованной роботизации объектов МТ является классификация морской робототехники, которая не только фиксирует существующее состояние дел и опыт разработки и применения роботов, но также позволяет прогнозировать основные тенденции и перспективные направления дальнейшего развития при решении задач внешней роботизации.

Наиболее обоснованный подход к классификации морской подводной робототехники

представлен в [6]. Под морской робототехникой будем понимать собственно роботов, робототехнические комплексы и системы. Разнообразие созданных в мире НПА затрудняет их строгую классификацию. Чаще всего в качестве классификационных признаков *морских РТК (НПА)* используют массу, габариты, автономность, способ передвижения, наличие плавучести, рабочую глубину, схему разворачивания, назначение, функциональные и конструктивные особенности, стоимость и некоторые др.

• Классификация по массогабаритным характеристикам:

• микроПА (ПМА), масса (сухая) < 20 кг, дальность плавания менее 1–2 морских миль, оперативная (рабочая) глубина до 150 м;

• мини-ПА, масса 20–100 кг, дальность плавания от 0,5 до 4000 морских миль, оперативная глубина до 2000 м;

• малые НПА, масса 100–500 кг. В настоящее время ПА этого класса составляют 15–20 % и находят широкое применение при решении различных задач на глубинах до 1500 м;

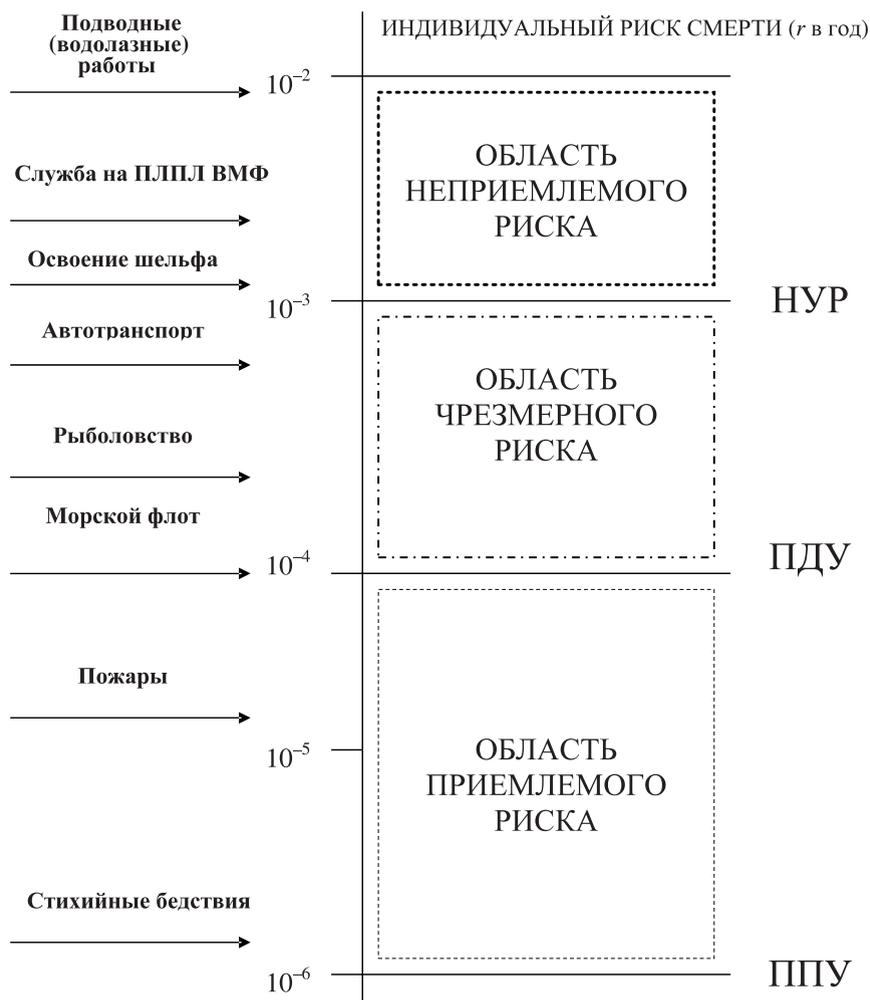
• средние НПА, масса более 500 кг, но менее 2000 кг;

• большие НПА, масса > 2000 кг.

• Классификация по особенностям формы несущей конструкции:

• классической формы (цилиндрической, конической и сферической);

• бионические (плавающего и ползающего типов);



Уровни риска смерти человека (вероятность –  $r$  в год) в зависимости от вида деятельности и источника риска, а также принятая классификация уровней риска:

ППУ – предельно пренебрежимый уровень риска; ПДУ – предельно допустимый уровень риска;  
НУР – неприемлемый уровень риска

планерной (самолетной) формы;  
с солнечной панелью на верхней части корпуса (плоские формы);

ползающие НПА на гусеничной базе.

- Классификация морских РТК (НПА) по степени автономности. АНПА должен отвечать трем основным условиям автономности: механической, энергетической и информационной.

Механическая автономность предполагает отсутствие какой-либо механической связи в виде кабеля, троса или шланга, связывающих ПА с судном-носителем либо с донной станцией или береговой базой.

Энергетическая автономность предполагает наличие на борту ПА источника питания в виде, например, аккумуляторных батарей, топливных элементов, ядерного реактора, двигателя внутреннего сгорания с замкнутым рабочим циклом и т. п.

Информационная автономность НПА предполагает отсутствие информационного обмена между аппаратом и судном-носителем, либо донной станцией или береговой базой. При этом НПА должен иметь и автономную инерциальную навигационную систему.

- Классификация морских РТК (НПА) по информационному принципу для соответствующего поколения НПА.

Морские автономные РТК ВН (АНПА) первого поколения функционируют по заранее заданной жесткой неизменяемой программе.

Дистанционно управляемые (ДУ) НПА первого поколения управляются по разомкнутому контуру. В этих простейших устройствах команды управления подаются непосредственно в движительный комплекс без использования автоматических обратных связей.

АНПА второго поколения имеют разветвленную сенсорную систему.

Второе поколение ДУНПА предполагает наличие автоматических обратных связей по координатам состояния объекта управления: высоте над дном, глубине погружения, скорости, угловым координатам и т. п. Эти очередные координаты сравниваются в автопилоте с заданными, определяемыми оператором.

АНПА третьего поколения будут обладать элементами искусственного интеллекта: возможностью самостоятельного принятия несложных решений в рамках общей поставленной перед ними задачи; элементами искусственного зрения

с возможностью автоматического распознавания простых образов; возможностью к элементарному самообучению с пополнением собственной базы знаний.

ДУНПА третьего поколения управляются оператором в интерактивном режиме. Система супервизорного управления предполагает уже некую иерархию, состоящую из верхнего уровня, реализуемого в ЭВМ судна-носителя, и нижнего уровня, реализуемого на борту подводного модуля.

- В зависимости от глубины погружения обычно рассматривают: мелководные ПТПА с рабочей глубиной погружения до 100 м, ПТПА для работ на шельфе (300–600 м), аппараты средних глубин (до 2000 м) и ПТПА больших и предельных глубин (6000 м и более).

- В зависимости от типа движительной установки можно различать НПА с традиционной винторулевой группой, МР с движительной установкой на бионических принципах и АНПА – планеры с движительной системой, использующей изменение дифферента и плавучести.

Современные робототехнические системы находят применение практически во всех областях подводно-технических работ. Однако главной областью их применения была и остается военная [8]. Уже произошло включение в состав ВМС ведущих индустриальных государств боевых НПА, БПЛА, которые могут стать высокоэффективным и скрытым компонентом системы средств вооруженной борьбы на океанских и морских театрах военных действий. Вследствие относительно невысокой стоимости производство НПА может быть крупносерийным, а их применение – широкомасштабным.

В плане создания НПА, БПЛА и БС военного назначения особенно показательны усилия США. Например, АНПА придаются каждой многоцелевой и ракетной ПЛ. Каждой тактической группе надводных кораблей придаются два таких АНПА. Развертывание АНПА с ПЛ предполагается проводить через торпедные аппараты, пусковые ракетные шахты или со специально оборудованных для них мест снаружи прочного корпуса ПЛ [7]. Чрезвычайно перспективным оказалось использование НПА и БПЛА в борьбе с минной опасностью. Их применение привело к созданию новой концепции «охоты на мины», включающей обнаружение, классификацию, идентификацию и нейтрализацию (уничтожение) мин. Противомин-

ные НПА, дистанционно управляемые с корабля, позволяют выполнять противоминные операции с большей эффективностью, а также увеличить глубины районов противоминных действий, сократить время на проведение идентификации и уничтожения [7]. В планах Пентагона главный упор в будущих сетцентрических войнах делается на широкомасштабное использование боевых роботов, неопилотируемых летательных аппаратов и необитаемых подводных аппаратов. Пентагон рассчитывает к 2020 г. роботизировать треть всех боевых средств, создавая полностью автономные роботизированные соединения и другие формирования [8].

Развитие отечественных морских робототехнических систем и комплексов специального назначения необходимо проводить в соответствии с Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 г. [9], с учетом результата анализа тенденций развития мировой робототехники, а также в связи с переходом экономики России на инновационный путь развития.

При этом учитываются результаты выполнения федеральной целевой программы «Мировой океан», проводимого на постоянной основе анализа состояния и тенденций развития морской деятельности в Российской Федерации и в мире в целом, а также системных исследований по вопросам, касающимся обеспечения национальной безопасности Российской Федерации в сфере изучения, освоения и использования Мирового океана. Эффективность внедрения полученных в ФЦП результатов определяется широким использованием технологий двойного применения и модульными принципами проектирования.

Цель развития морской робототехники – повышение эффективности использования специальных систем и вооружений ВМФ, специальных систем ведомств, эксплуатирующих морские ресурсы, расширение их функциональных возможностей, обеспечение безопасности деятельности экипажей ЛА, НК, ПЛ, подводных аппаратов и выполнения специальных, подводно-технических и аварийно-спасательных работ.

Достижение цели обеспечивается реализацией следующих принципов развития в части конструирования, создания и применения морской робототехники:

- унификация и модульное построение;
- миниатюризация и интеллектуализация;
- сочетание автоматического, автоматизиро-

ванного и группового управления;

информационная поддержка управления робототехническими системами;

гибридизация по комплексированию различных мехатронных модулей в составе комплексов и систем;

распределенная инфраструктура сопровождения в сочетании с бортовыми системами информационной поддержки морских операций.

Основные направления развития морской робототехники должны обеспечивать решение ряда стратегических проблем усложнения и интенсификации военной техники, связанных с взаимодействием в системе «человек-техника» [10].

Внутреннее направление, нацеленное на обеспечение роботизации энергонасыщенных герметичных отсеков НК, ПЛ и ОПА. К нему относятся внутриотсечные робототехнические средства (в т. ч. подвижные малогабаритные средства мониторинга), комплексы и системы предупреждения о наступлении опасных (аварийных) ситуаций и принятия мер по их устранению [2, 3].

Внешнее направление, в обеспечение роботизации водолазных и специальных морских работ, включая мониторинг состояния потенциально опасных объектов, а также аварийно-спасательные работы. К нему относятся БПЛА, БПС, МРС, АНПА, беспилотные обитаемые подводные аппараты (БОПА), морские робототехнические комплексы и системы [4, 5].

Основными задачами развития морской робототехники являются функциональные, технологические, сервисные и организационные.

Перспективные функциональные задачи морской робототехники в рамках внутрикорабельной деятельности:

ведение мониторинга состояния механизмов и систем, параметров внутриотсечной среды;

проведение отдельных опасных и особо опасных работ внутри и снаружи отсеков и помещений;

технологические и транспортные операции;

обеспечение выполнения функций экипажа в период беспилотного функционирования НК, ПЛ или ЛА;

предупреждение о наступлении аварийных ситуаций и принятие мер по их устранению.

Перспективные функциональные задачи морской робототехники в рамках функционирования на поверхности объекта, над водой, под водой и на дне:



мониторинг и техническое обслуживание НК, ПЛ и ОПА (включая сбор и передачу информации о состоянии ОПА);

выполнение технологических операций и обеспечение научных исследований;

выполнение задач разведки, наблюдения, ведения определенных боевых действий самостоятельно;

разминирование, работы с потенциально опасными объектами;

работы в составе навигационных систем и систем гидрологического и экологического мониторинга.

Основные перспективные технологические задачи в области создания морской робототехники:

создание гибридных модульных автономных МРС с оперативной модификацией собственной структуры для различных функциональных назначений;

разработка способов группового управления роботами и организация их взаимодействия;

создание систем телеуправления с объемной визуализацией, в т. ч. в масштабе реального времени;

управление МРС с использованием информационно-сетевых технологий, включая самодиагностику и самообучение;

интеграция МРС в системы более высокого уровня, включающие средства доставки в район их применения и всестороннее обеспечение функционирования;

организация человеко-машинного интерфейса, обеспечивающего автоматическое, автоматизированное, супервизорное и групповое управление МР.

Основными сервисными задачами при эксплуатации морской робототехники являются:

развитие наземной и бортовой инфраструктуры для отработки поддержки и сопровождения МРС;

разработка ситуационных имитационно-моделирующих комплексов и тренажеров, специального оборудования и оснастки для обучения, обслуживания и поддержки МРС;

обеспечение ремонтпригодности и возможности утилизации конструкций оборудования, приборов и систем.

В составе основных организационных задач и мероприятий создания и внедрения морской робототехники целесообразно предусмотреть:

разработку комплексной целевой программы (КЦП) развития морской робототехники (роботизации МТ);

создание рабочего органа для обоснования и формирования КЦП роботизации МТ, включая планирование мероприятий, формирование перечня конкурсных заданий, экспертизу, отбор предлагаемых проектов и возможных решений;

проведение мероприятий по организационно-штатному, кадровому и материальному обеспечению испытаний и эксплуатации морской робототехники на флоте.

В качестве показателей и критериев эффективности разработки и внедрения морской робототехники целесообразно рассмотреть следующие основные:

- 1) степень замены персонала объекта;
- 2) военно-экономическую эффективность (критерий эффективности – стоимость);
- 3) степень универсальности (возможность двойного использования);
- 4) степень стандартизации и унификации (конструктивно-технологический критерий);
- 5) степень соответствия функциональному назначению (критерий технического совершенства, возможности дальнейшей модернизации, модификации, усовершенствования и интегрирования в другие системы).

Основным условием для разработки и внедрения РТК, систем и их элементов является успешное решение экономических и организационных задач, прежде всего задач разработки и реализации КЦП роботизации МТ и федеральных программ закупок РТК.

Одним из самых сложных и трудоемких процессов при разработке КЦП предполагается составление перечня работ и технологических карт их выполнения (каталогизация работ) для решения задач, в которых необходимо использование робототехнических средств. Каждая типовая операция, проводимая силами ВМФ и других заинтересованных ведомств, должна быть представлена в виде алгоритма, либо набора типовых действий или сценариев. Из полученного набора сценариев должны быть вычленены те, где необходимо использование робототехнических средств. Выбранные сценарии (отдельные операции) должны быть сведены в единый пополняемый реестр работ, предусматривающих использование робототехнических средств. Данный перечень должен иметь строгую иерархическую структуру, отра-

жающую степень важности (первоочередности) данных работ, информацию о частоте или повторяемости их проведения, оценки затрат на разработку и изготовление робототехнических средств для их проведения. Разработанный перечень должен стать исходной информацией для последующего принятия решения о разработке необходимых средств в рамках КЦП.

Концептуальное значение имеет уже известный тезис: многие важные задачи флота могут быть успешно решены, если ориентироваться на групповое использование взаимодействующих относительно недорогих, портативных, малогабаритных роботов, не требующих развитой инфра-

структуры и высококвалифицированного обслуживающего персонала, вместо меньшего числа больших, дорогостоящих, требующих специальных носителей, и тем более обитаемых, подводных, надводных и летательных аппаратов.

Таким образом, роботизация морской техники призвана вывести человека из зоны повышенного риска, повысить функциональные возможности, оперативность и производительность морской техники а также разрешить стратегический конфликт между усложнением и интенсификацией процессов управления и обслуживания техники, и ограниченными возможностями человека.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров, М.Н.** Безопасность человека на море [Текст] / М.Н. Александров. –Л.: Судостроение, 1983.
2. **Шубин, П.К.** Проблема внедрения безлюдных технологий на морские объекты [Текст] / П.К. Шубин // Экстремальная робототехника. Матер. XIII науч.-технич. конф. –СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003. –С. 139–149.
3. **Шубин, П.К.** Повышение безопасности энергонасыщенных объектов ВМФ средствами робототехники. Актуальные проблемы защиты и безопасности [Текст] / П.К. Шубин // Экстремальная робототехника. Тр. XIV Всерос. науч.-практич. конф. –СПб.: НПО Специальных материалов, 2011. –Т. 5. –С. 127–138.
4. **Агеев, М.Д.** Автономные подводные роботы. Системы и технологии [Текст] / М.Д. Агеев, Л.В. Киселев, Ю.В. Матвиенко [и др.]; Под. ред. М.Д. Агеева. –М.: Наука, 2005. –398 с.
5. **Агеев, М.Д.** Необитаемые подводные аппараты военного назначения: Монография [Текст] / М.Д. Агеев, Л.А. Наумов, Г.Ю. Илларионов [и др.]; Под. ред.
- М.Д. Агеева. –Владивосток: Дальнаука, 2005. –168 с.
6. **Алексеев, Ю.К.** Состояние и перспективы развития подводной робототехники. Ч. 1 [Текст] / Ю.К. Алексеев, Е.В. Макаров, В.Ф. Филаретов // Мехатроника. –2002. –№ 2. –С. 16–26.
7. **Илларионов, Г.Ю.** Угроза из глубины: XXI век [Текст] / Г.Ю. Илларионов, К.С. Сиденко, Л.Ю. Бочаров. –Хабаровск: КГУП «Хабаровская краевая типография», 2011. –304 с.
8. **Баулин, В.** Реализация концепции «Сетецентрическая война» в ВМС США [Текст] / В. Баулин, А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. –2009. –№ 6. –С. 61–67.
9. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года (утв. Президентом РФ В.В. Путиным 27 июля 2001 г. № Пр-1387).
10. **Лопота, В.А.** О путях решения некоторых стратегических проблем военной техники [Текст] / В.А. Лопота, Е.И. Юревич // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. –М., 2003. –Вып. 9–10. –С. 7–9.