



Южный
федеральный
университет

И З В Е С Т И Я

- *Беспилотные авиационные системы*
- *Морская робототехника*
- *Наземная робототехника*
- *Приводная техника
и медицинская робототехника*

Тематический выпуск
Перспективные системы
и задачи управления

ЮФУ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I. БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

В.И. Гончаренко, Л.Д. Горченко ВЫБОР КОНФИГУРАЦИЙ МАНЁВРА ПЛАНИРУЮЩЕГО АЭРОБАЛЛИСТИЧЕСКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	6
С.А. Синюгин, А.А. Горбунов, Е.Б. Горбунова МЕДЛЕННО-ЛЕТЯЩИЙ БПЛА С ЭЛЛИПСОВИДНЫМ КРЫЛОМ. ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ.....	18
В.Н. Евдокименков, М.Н. Красильщиков, Г.Г. Себряков РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	29

РАЗДЕЛ II. МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА

А.И. Машошин, П.О. Скобелев ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ.....	45
И.В. Кожемякин, А.П. Блинков, К.В. Рождественский, В.А. Рыжов, В.Д. Мелентьев, В.Ю. Занин ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПЛАТФОРМЫ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	59
А.Ю. Демин, В.А. Сорокин, И.А. Анферов, А.А. Хамухин ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	77
И.В. Кожемякин, И.А. Путинцев, Н.Н. Семенов, М.Н. Чемоданов РАЗРАБОТКА ПОДВОДНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ, ДОПОЛНЕННЫХ МОДЕЛЬЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	88
Г.И. Джанджгава, Т.В. Сазонова МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ О ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЗЕМЛИ.....	102
В.В. Костенко, Д.Н. Михайлов АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ ХОДА АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	110
Ю.В. Матвиенко, А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, А.Ф. Щербатюк ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ.....	123
В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев, Ан.Е. Гаврилов УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВОДНЫХ ШАГАЮЩИХ АППАРАТОВ ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ	141

РАЗДЕЛ III. НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

В.С. Лапшов, В.П. Носков, И.В. Рубцов, Н.А. Рудианов, А.И. Гурджи, А.В. Рябов, В.С. Хрущев ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ АВТОНОМНЫХ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	156
М.И. Маленков, В.А. Волон СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ САМОХОДНЫХ ШАССИ ПЛАНЕТОХОДОВ	169
Г.О. Котиев, А.С. Дьяков МЕТОД РАЗРАБОТКИ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОПОДВИЖНЫХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	186

29. Budaev D.S., Voshhuk G.Ju., Gusev N.A., Majorov I.V., Mochalkin A.N. Razrabotka sistemy soglasovannogo upravleniya gruppyo bespilotnykh apparatov s primeneniem mul'tiagentnykh tehnologiy [Developing a system for coordinated management of a group of unmanned vehicles using multi-agent technology], *Izvestiya YuFU. Tehnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 10 (171), pp. 18-28.
30. Belousov A.A., Skobelev P.O., Stepanov M.E. Network-centric approach to adaptive real-time train scheduling in large-scale railway systems, Y. Tan et al. (Eds.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Swarm Intelligence (ICSI 2015), 26-29 June, 2015, Beijing, China*. Part II. LNCS 9141. Springer, 2015, pp. 290-299.
31. Skobelev P., Simonova E. & Zhilyaev A. Using multi-agent technology for distributed management of cluster of remote sensing satellites, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 2016, Vol. 11, Issue 2, pp. 127-134.
32. Skobelev P., Simonova E., Zhilyaev A. Application of Ontology in Smart System for Distributed Management of Small Satellites Groups, *Proceedings of the PAAMS 2016 International Workshops, 1-3 June, 2016, Sevilla, Spain*. 2016. Communications in Computer and Information Science series, vol. 0430. Springer, Switzerland, pp. 1-12.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Витих.

Машошин Андрей Иванович – ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»; e-mail: aimashoshin@mail.ru; 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30; тел.: +79217632345; д.т.н.; профессор; начальник научно-исследовательского центра.

Скобелев Петр Олегович – Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва; e-mail: petr.skobelev@gmail.com; 443013, Самара, ТОЦ "Вертикаль", Московское шоссе, 17, офис 1201; тел.: 88462793779; д.т.н.; профессор; ведущий научный сотрудник Института проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН).

Mashoshin Andrey Ivanovich – JSC Concern Central Scientific and Research Institute «Elektropribor»; e-mail: aimashoshin@mail.ru; 30, Malaya Posadskaya street, Saint-Petersburg, 197046, Russia; phone: +79217632345; dr. of eng. sc.; professor; chief of the research department.

Skobelev Petr Olegovich – Samara State Aerospace University; e-mail: petr.skobelev@gmail.com; 17, Moskovskoe Shosse, office center "Vertikal", office 1201, 443013 Samara, Russia; phone: +78462793779; dr. of eng. sc.; professor; leading researcher of the Institute for Control of Complex Systems, Russian Academy of Sciences.

УДК 551.46.077:529.584

**И.В. Кожемякин, А.П. Блинков, К.В. Рождественский, В.А. Рыжов,
В.Д. Мелентьев, В.Ю. Занин**

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПЛАТФОРМЫ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Приведены результаты работ, выполненных Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом, в рамках тематики, связанной с комплексными исследованиями в обеспечение создания глобальной информационно-измерительной сети на основе морских роботизированных систем (МРС). К МРС в контексте работы отнесены следующие автономные необитаемые транспортные/измерительные/коммуникационные/обеспечивающие платформы: подводные глайдеры, буи и зонды переменной плавучести, поверхностные волновые буи, волновые глайдеры, донные и ледовые коммуникационные станции, узлы подводной стыковки-расстыковки мобильных автономных объектов, автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). Перечисленные МРС в совокупности образуют комплекс технических средств – эффективных элементов морской глобальной информационно-

коммуникационной сети. Длительное нахождение на маршруте или в заданном районе плавания с целью сбора гидрофизических, химических, радиационных и других параметров и передачи их по радио- и/или гидроакустическому каналам, формирование единого информационного пространства, обеспечение обмена данными с погруженными объектами по гидроакустическому/оптическому каналу, ретрансляции информации через каналы радио связи (спутниковой, метеорной) определяет востребованность рассматриваемых типов МРС для решения широкого круга практических задач. Указанные МРС способны обеспечивать решение научных, исследовательских, прикладных задач, связанных с мониторингом и освоением Мирового океана, поддержкой решения экологических задач, задач прогнозирования климата, контроля биоресурсной базы, разработкой подводных месторождений полезных ископаемых, сейсморазведкой, использованием в качестве средств контроля и оповещения в чрезвычайных ситуациях, в качестве средств обеспечения комплексной безопасности морских и береговых стационарных объектов. В работе анализируются зарубежные и отечественные разработки МРС, варианты их использования для решения указанных выше практических задач, формулируются основные проблемные вопросы связанные с становлением класса отечественных МРС глайдерного типа, делаются выводы по перспективам развития рассматриваемого направления.

Морская информационно-измерительная сеть, морская роботизированная система; автономный необитаемый подводный аппарат; подводный глайдер; волновой глайдер; полезная нагрузка; межсредный ретранслятор сигнала; групповые миссии.

**I.V. Kozhemyakin, A.P. Blinkov, K.V. Rozhdestvensky, V.A. Ryzhov,
V.D. Melentyev, V.Yu. Zanin**

ADVANCED PLATFORMS FOR MARINE ROBOTIC SYSTEM AND SOME OPTIONS OF THEIR USE

Results are presented of the work carried out by Saint-Petersburg State Marine Technical University in the framework of complex research in provision of the development of a global information and measurement system based on marine robotic systems (MRS). In the context of this work assigned to the MRS are the following autonomous unmanned transport/measurement/communication/support platforms: underwater gliders, buoys and probes of variable buoyancy, surface wave buoys, wave gliders, bottom and ice communication stations, docking\undocking units of autonomous mobile objects, autonomous underwater vehicles (AUV). Altogether the MRS listed above form a complex of technical means- efficient elements of the global marine information and communication network. Prolonged exposure on the route or in a given navigation area with the goal of accumulating hydro-physical, chemical, radiation and other parameters and transmitting these parameters with use of the radio and hydro-acoustic channels, forming a unified information space, provision of data exchange with submersed objects through hydro-acoustic/optical channels, retranslation of the information using radio communication channels (satellite, meteor burst communications) determine high demand of the of the aforementioned MRS types for solution of wide range of practical problems: scientific, research, applied, related to monitoring and exploration of the world ocean, support of solution of environmental and climate forecasting problems, control of bio-resources base, development of subsea fields, conducting seismic surveys, use for the purpose of control and notification in emergency situations as means of provision of complex safety of marine and coastal stationary facilities. This paper also analyzes foreign and national developments of MRS, options of their use for solving of the above listed practical problems, and formulates the main problematic issues related to the developments of a class of national MRS of glider type, provides certain conclusions on the perspectives of the progress of the research direction under consideration.

Mmarine information and measurements network; marine robotic system; autonomous unmanned underwater vehicle; underwater glider; wave glider; payload; interface signal retranslator; group missions.

Введение. Проводимые в последнее время масштабные разработки кибер, космических, воздушных, морских и наземных робототехнических систем для приложений различного назначения, показывают существенный прогресс в данной области, говорят о становлении новой парадигмы технологического развития, вносят коррективы в традиционные подходы формирования национальных стратегий в экономической и военной сферах деятельности.

Если говорить о морских приложениях робототехнических систем, то внимания заслуживает следующее сопоставление: стоимость атомной подводной лодки класса «Вирджиния» составляет 1750000000 долларов, стоимость серийного подводного глайдера – 100000 долларов. Эксперты задаются вопросом – что будет эффективнее в современных сетевых операциях – одна атомная подлодка или 17500 глайдеров [1]? Ответ, видимо, пока будет неоднозначным. Однако интерес, проявляемый различными ведомствами к морским роботизированным системам, исследования и разработки в области современных технологий (новые материалы, нано энергетика, адаптивные технологии, искусственный интеллект) приводят к стремительному совершенствованию технических качеств МРС, необходимых для решения специальных задач.

Тренд «smart, small, many & inexpensive» постепенно начинает приобретать статус реалистичного, что подтверждают конкретные разработки современных дронов.

1. Состояние разработок в области морских роботизированных систем - транспортных платформ глайдерного типа. Последние пять-семь лет показали, что развитие морской робототехники и сопутствующих приложений происходит весьма динамично. В программных документах развитых стран этому вопросу уделяется особое внимание. Морская робототехника для надводного, подводного и донного сегментов Мирового океана ежегодно пополняется новыми, все более мощными и интеллектуальными системами.

В данной работе первоочередное внимание уделяется МРС глайдерного типа, как базовым элементам комплекса технических объектов, участвующих в формировании глобальной морской информационно-измерительной системы (ИИС).

Для общего представления состояния дел в рассматриваемой области, укажем качественный состав серийных разработок МРС глайдерного типа активно используемых в исследовательских, производственных и прикладных целях.

Можно констатировать, что к настоящему времени сформировались три подкласса автономных необитаемых аппаратов глайдерного типа, которые включают в себя:

- ◆ подводные глайдеры («классические» подводные глайдеры, подводные глайдеры с вспомогательным движительным комплексом);
- ◆ надводные (волновые) глайдеры («классические» волновые глайдеры, волновые глайдеры с вспомогательным движительным комплексом);
- ◆ гибридные необитаемые аппараты, обеспечивающие смешанный (надводный/подводный) режим функционирования и использующие глайдерный принцип движения.

Подкласс подводных глайдеров, появившийся в начале 90-х годов прошлого века, объединяет в себе достаточно большое количество модификаций АНПА, серийно производимых в различных странах мира. Здесь, в первую очередь, необходимо упомянуть о разработках таких аппаратов, как *Slocum*, *SeaGlider*, *Spray Glider*, *ANT Littoral Glider (Exocetus)*, *Liberdade/ZRay*, *SeaExplorer*, *Folaga* [2–8], рис. 1.



Рис. 1. Подкласс подводных глайдеров (*Slocum*, *SeaGlider*, *Spray Glider*, *ANT Littoral Glider*, *ZRay2*)

Перечисленные аппараты стоят на вооружении во флотах зарубежных стран, используются в исследовательской деятельности. Объемы контрактов на их модернизацию и закупку со стороны военных ведомств говорят о их востребованности.

Подкласс надводных (волновых) глайдеров, сформировавшийся к середине 10-х гг. настоящего века, включает в себя на сегодня лишь несколько серийных платформ: волновые глайдеры компании *Liquid Robotics, Inc.* (*SV2 series*, *SV3 series*) [9] и компании *MOST AV* (*AutoNaut series*) [10], рис. 2.



Рис. 2. Подкласс надводных (волновых) глайдеров (*LR SV3 series*, *AutoNaut*)

Волновые глайдеры компании *Liquid Robotics Inc.* приняты на вооружение в США.

И наконец, третий подкласс, о становлении которого можно говорить с начала 2016 г. – подкласс гибридных аппаратов, способных функционировать в подводном и надводном положениях. Представителем данного подкласса является на сегодня только один аппарат компании *Ocean Aero, Inc.* – *Submaran S10* [11], рис. 3.

Данный подкласс морских необитаемых аппаратов, имеющих трансформенный конструктив, способен передвигаться в надводном положении используя энергию ветра (жесткое крыло) на скоростях до 10 узлов, а в подводном – используя принцип изменения остаточной плавучести на скоростях до 2 узлов. Департамент обороны США (*DoD*) в конце 2015 г заключил двухлетний контракт на разработку аппарата нового класса *UUSV* (*Unmanned Underwater, Surface Vessel*) - *Submaran S10* под нужды ведомства [12].



Рис. 3. Подкласс гибридных необитаемых аппаратов, обеспечивающих смешанный (надводный/подводный) режим функционирования и использующих глайдерный принцип движения (Submaran S10)

Необходимо отметить, что аппараты перечисленных подклассов используют для своего движения источники возобновляемой энергии (солнца, моря и ветра) и могут выполнять долгосрочные автономные миссии в различных акваториях мирового океана вне зависимости от метеорологических условий. Безусловно, каждому из аппаратов предписывается своя «зона ответственности» в сценариях их использования, однако комплекс перечисленных аппаратов способен обеспечить в случае применения кооперативных стратегий решение широкого спектра задач.

2. Текущее состояние разработок отечественных транспортных платформ глайдерного типа. Систематические работы по созданию транспортных платформ глайдерного типа были возобновлены в СПбГМТУ в 2011 году. Указанные работы осуществлялись в кооперации с СамГТУ и ЗАО «НПП ПТ «Океанос».

В период 2011–2016 гг. в СПбГМТУ проведен ряд инициативных НИР, связанных с комплексными исследованиями в обеспечение создания морской информационно-измерительной сети на основе МРС глайдерного типа [13,14, 15–22].

Текущими практическими результатами этих исследований стали:

- ◆ разработка полноразмерного действующего ходового стенда подводного глайдера торпедной формы, рис. 4,
- ◆ разработка масштабного действующего макетного образца волнового глайдера, рис. 5.



Рис. 4. Действующий полноразмерный ходовой стенд подводного глайдера торпедной формы СПбГМТУ – ЗАО «НПП ПТ «Океанос»



Рис.5. Действующий масштабный макетный образец волнового глайдера СПбГМТУ (модификация для опытового бассейна)

К настоящему времени проведены успешные испытания глайдеров, проводятся дальнейшие работы по их совершенствованию.

3. Использование морских транспортных платформ глайдерного типа. Конечными пользователями (заказчиками) морских транспортных платформ глайдерного типа являются:

- ◆ научные и исследовательские организации,
- ◆ судоходные компании,
- ◆ морские сервисные компании,
- ◆ добывающая (нефтегазовая) промышленность,
- ◆ военные ведомства.

При этом интересы заказчика определяют круг задач, которые должны решать указанные МРС и, как следствие, типы полезной нагрузки, которые должны нести аппараты.

Безусловно, вне зависимости от конечного пользователя имеется общая задача, связанная с обеспечением процесса эффективной эксплуатации платформ глайдерного типа – сбором и обработкой больших объемов информации, поступающей от МРС в режиме реального времени, и управлением их миссиями. Для корректного решения указанной задачи, роботизированные объекты должны являться элементами (агентами) морской информационно-измерительной (сенсорно-коммуникационной) сети, позволяющей формировать единое информационное пространство под нужды заказчика. При этом стратегически важно покрытие сегментами сети всех акваторий Мирового океана, включая Арктические зоны.

На создание глобальной морской сети нацелены зарубежные проекты гражданских и военных ведомств [13]. Эти проекты осуществляются как в рамках широкомасштабных программ контроля состояния окружающей среды – GOOS (Global Ocean Observing System), IMS (International Monitoring System), NPEO (North Pole Environmental Observing), ATOS (Acoustic Thermometry of Ocean Climate) и пр., так и в рамках военных проектов – PLUSNet (Persistent Littoral Undersea Surveillance Network) – обеспечения безопасности прибрежной морской зоны, IUSS (Integrated Undersea Surveillance System) – формирования единой системы глобального подводного наблюдения во всей акватории Мирового океана.

Также следует отметить, что активное использование МРС для решения исследовательских, промышленно-эксплуатационных и специальных прикладных задач определяют Арктические программы развитых стран, в частности, «US Navy Arctic Roadmap 2014-2030» [23].

Очевидно, что реализация перечисленных проектов и программ способствует возникновению информационных преимуществ у экономических соперников РФ.

Указанное говорит о необходимости развития отечественной морской ИИС, оснащенной новыми эффективными видами МРС.

Если остановиться на основных задачах, перечисленных выше конечных пользователей, то в целях удовлетворения потребностей научных и исследовательских организаций МРС глайдерного типа могут обеспечить:

- ◆ постоянный долгосрочный мониторинг акваторий Мирового океана (включая континентальный шельф Арктической зоны);
- ◆ контроль экологической обстановки;
- ◆ контроль биологической ресурсной базы (обеспечение сохранения биологического разнообразия флоры и фауны в условиях расширения экономической деятельности и глобальных изменений климата);
- ◆ сбор информации для прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и др.

Для судоходных и сервисных компаний МРС могут обеспечивать:

- ◆ поддержку работы системы безопасности управления движением судов;
- ◆ техническое обеспечение навигационных, гидрометеорологических и информационных услуг, включая освещение ледовой обстановки;
- ◆ мониторинг состояния и техническое обслуживание подводных коммуникаций и др.

Важной проблемой, которая не раз обсуждалась на крупных международных конференциях [24], является обеспечение комплексной безопасности морской экономической деятельности, связанной с разведкой минеральных ресурсов, разработкой полезных ископаемых, с их транспортировкой судовым и трубопроводным транспортом.

Обеспечение комплексной безопасности объектов морской инфраструктуры нефтегазодобывающей промышленности (в первую очередь расположенных на Арктическом шельфе) подразумевает решение следующих задач:

- ◆ создание эффективной системы выявления и предупреждения угроз (технических, экологических, террористических, военных);
- ◆ создание системы непрерывного мониторинга надводной и подводной части акватории (охраны объемного «периметра», патрулирование протяженных участков, создание системы навигационного ограждения и др.);
- ◆ создание системы оперативного получения информации (в режиме реального времени) и ее анализа для выработки противодействия на появляющиеся потенциальные опасности.

Очевидно, что перечисленные задачи могут быть эффективно решены только с использованием инновационных технологий МРС. Именно поэтому использование МРС глайдерного типа лежит в основе разрабатываемой СПбГМТУ концепции мультиагентной информационно-измерительной сети для освещения обстановки в различных акваториях Мирового океана [13].

Концепция предполагает использовании двух основных типов универсальных агентов – подводного и надводного.

Надводный агент морской арктической ИИС представляет собой:

волновой глайдер, оперирующий на открытой воде или в непосредственной близости от ледовых полей; дрейфующий буй (переменной плавучести); стационарную/дрейфующую (вмороженную в ледовый покров) автономную станцию.

Перечисленные технические средства предназначены для:

- ◆ измерения требуемых параметров морской среды,

- ◆ обеспечения функций ретранслятора – поддержки двусторонней межсредней связи подводных агентов со стационарными (береговыми) или мобильными (корабельными) Центрами управления и обработки информации,
- ◆ выполнения функций приводного маяка для подводных агентов,
- ◆ получение информации от подводных агентов.

Сеть надводных агентов служит для постоянного мониторинга текущей обстановки. Полученные данные, привязанные к координатной сетке с помощью спутниковой и/или метеорной систем связи передаются в Центр управления и обработки информации.

Подводный агент морской арктической ИИС представляет собой мобильную МРС – подводный глайдер, оснащенный необходимой для решаемых задач полезной нагрузкой (измерительной аппаратурой) и обеспечивающий обмен информацией с другими подводными и надводными агентами или объектами.

При сплошном ледовом покрове подводный глайдер по сигналам приводных гидроакустических маяков, вмороженных в лед, находит ближайшую к нему вмороженную станцию и передает накопленные данные по гидроакустическому/оптическому каналу, производит корректировку своих текущих координат, получает задание для новой миссии или данные, необходимые для передачи на другие подводные объекты.

Если говорить о специальных прикладных целях, то глайдерные платформы могут обеспечить решение следующих задач:

- ◆ непрерывный долгосрочный мониторинг в заданной акватории,
- ◆ ретрансляцию сигналов через границу раздела сред «вода – воздух»,
- ◆ обеспечение функционирования промежуточных узлов подводной сети гидроакустической связи для улучшения ее качества и дальности,
- ◆ обслуживание подводных и донных коммуникационных узлов,
- ◆ охрану прибрежных акваторий (включая портовую инфраструктуру),
- ◆ выполнение функций навигационных заграждений,
- ◆ поддержку операций по поиску и спасению,
- ◆ долгосрочные миссии в ледовых условиях и пр.

Практические действия по широкомасштабному использованию технологий морских роботизированных систем, демонстрируют программы, проекты, испытания, учения, проводимые флотами стран членов НАТО при участии компаний разработчиков МРС. Это такие проекты как ICARUS (FP7, NATO STO CMRE) [25]; PERSEUS (FP7, NATO STO CMRE) [26]; BRIDGES (FP7) [27]; GROOM (FP7) [28]; испытания Portuguese Navy REP-14, REP-15 [29, 30]; испытания ATSA Defence Services [31]; проекты компании Liquid Robotics, Inc. совместно с компаниями Boeing (USA) [32], Ultra Electronics USSI (UK), EMS (Spain), OceanTech (South Korea), Sea Technology Services (South Africa), BioSonics, Inc. (USA), Fastwave (Australia) and UVS (Australia) в рамках инициативы «Liquid Robotics Open Oceans Partner Program» [33] и др.

Основной задачей указанных проектов являлось развитие технологий совместного использования беспилотных технических средств морского базирования (подводных, надводных, воздушных) в рамках единой сенсорно-коммуникационной сети.



Рис. 6. Использование волнового и подводного глайдеров для решения задач сбора информации и обеспечения гидроакустической связи

Так испытания REP-14 (2014), REP-15 (2015) [29, 30] были нацелены на отработку кооперативного функционирования сети беспилотных морских транспортных средств; апробацию новых решений в области подводных коммуникаций и реализацию сценариев взаимодействия с использованием волновых глайдеров (SV2, SV3) в качестве автономного межсредного шлюза обмена данными надводного и подводного сегментов сети; проводились эксперименты с отработкой возможностей нового протокола подводной цифровой связи JANUS.

Программа ATSA Defence Services [31] была посвящена отработке гидроакустического взаимодействия сети подводных и надводных робототехнических систем, включая подводные и волновые глайдеры, в целях раннего обнаружения потенциальных морских угроз.

Проект «SHARC» компаний Liquid Robotics, Inc. и Boeing [32] был связан с отработкой взаимодействия волнового глайдера с P8A/I Poseidon Maritime Patrol Aircraft, беспилотными воздушными транспортными средствами в целях передачи оперативной подводной информации в режиме реального времени.

Испытания, проведенные в середине 2015 года американскими ВМФ, - запуск подводного аппарата Remus 600 с подводной лодки USS North Dakota (SSN-784) [34], подтвердили возможности использования МРС как многоазовых объектов специального назначения корабельного базирования. При этом, очевидно, что использование МРС глайдерного типа, как более дешевых изделий, открывает новые возможности для их использования.

Как анонсировала компания Ocean Aero, Inc. доставка разработанной ею МРС Submaran S10 в заданный регион акватории будет возможен авиационным путем с дальнейшим сбросом аппарата на воду [12].

Использование в составе МРС группировок недорогих «интеллектуальных» АНПА класса микро открывают дополнительные возможности по решению задач быстрого сбора и анализа информации в достаточно больших по объему областях, а также возможности обеспечения функций гидроакустического «мусора». Проекты, нацеленные на разработку АНПА класса микро, например, CoCoRo [35], показывают, что коллективные миссии подобных робототехнических платформ добавляют новые весьма значимые качества морским ИИС.

В связи с указанным, можно говорить о достаточно большом числе вариантов использования МРС глайдерного типа для решения задач кооперативного взаимодействия различных объектов в рамках морской ИИС (групповое использование МРС; индивидуальные миссии; взаимодействие с носителями МРС, с центрами обработки данных и управления погруженными объектами и пр.).

Ниже рассматривается один из вариантов использования волновых глайдеров для решения задачи обеспечения взаимодействия МРС подводного и надводного базирования.

4. Использование волнового глайдера, как носителя средств ретрансляции для решения задачи обеспечения эффективного взаимодействия МРС подводного и надводного сегментов ИИС. Для решения широкого круга задач важную роль имеет обеспечение информационного обмена между подводными, надводными, воздушными и береговыми объектами в процессе осуществления их совместной деятельности.

Основными коммуникационными каналами такого взаимодействия являются радио и гидроакустический каналы, использование которых определяется рабочей средой функционирования конкретного объекта.

При этом передача информации через границу раздела сред представляет собой серьезную задачу, которая может решаться различными техническими способами.

В силу физической природы распространения сигналов в водной среде, основным каналом передачи в ней является гидроакустический. По данному каналу производится информационное взаимодействие со всеми (обитаемыми и необитаемыми) погруженными объектами в процессе, рис. 7:

- ◆ взаимного ориентирования (ВЗОР);
- ◆ телеуправления (ТУ);
- ◆ передачи данных телеметрии (ТМ);
- ◆ гидроакустического опознавания (ГАОП);
- ◆ обмена данными (ОД);
- ◆ передачи неформализованных сообщений (НФС).

Другим вариантом информационного взаимодействия с погруженными объектами может быть взаимодействие по составному (комбинированному) радио-гидроакустическому каналу. В этом случае появляется необходимость использования соответствующих ретрансляторов, обеспечивающих межсредный переход прохождения информации, рис. 8.

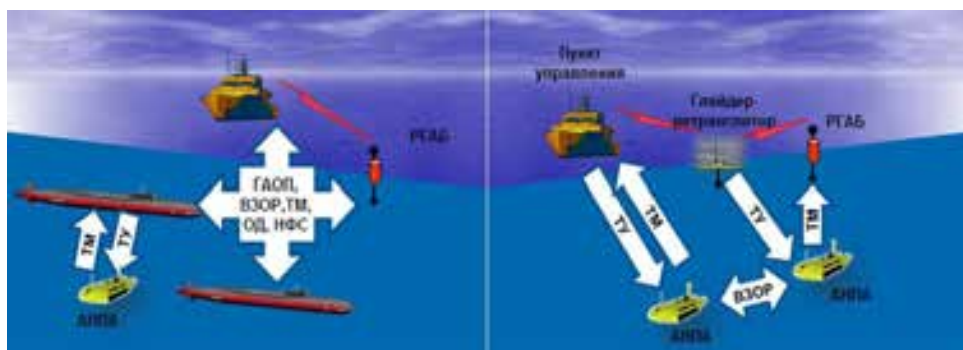


Рис. 6. Виды информационного обмена с погруженными объектами по гидроакустическому каналу



Рис. 7. Ретранслятор как средство преодоления границы раздела сред

Необходимость использования ретрансляторов для управления подводными объектами обусловлена следующими объективными факторами:

- ◆ скорость информационного обмена находится в прямой зависимости от используемой полосы частот;
- ◆ увеличение скорости передачи требует увеличения полосы рабочих частот и предполагает повышение средней частоты сигнала, однако в силу природы распространения звуковых волн, с увеличением частоты используемых сигналов увеличивается затухание, что ведет к снижению доступной дальности информационного обмена.

В области звуковых частот гарантированная передача (но с низкой скоростью) команд управления на подводные объекты возможна на несколько десятков километров. Дальность же скоростного обмена данными по гидроакустическому каналу не превышает 4-6 км. Дальность скоростного обмена данными по радио каналу (КВ, ИСЗ) – не ограничена.

Таким образом, увеличение дальности управления подводными объектами возможно «скрестив» звуковые волны гидроакустического канала с радио волнами соответствующими ретрансляторами, выполняющим роль «шлюзов» межсредного перехода. При этом задача шлюзов межсредного перехода заключается в преодолении границы раздела сред «вода-воздух» с целью увеличения дальности и скорости передачи сигналов управления подводными объектами.

В качестве ретрансляторов, обеспечивающих взаимодействие между радио и гидроакустическими каналами при передаче информации, могут использоваться: корабли, специальные суда, стационарные ГАК, РГАБ устанавливаемые с различных носителей и др. Только по 5-ти признакам автономных ретрансляторов количество их типов превышает 240 вариантов, табл. 1.

Среди перечисленных вариантов достойное место занимают волновые глайдеры-ретрансляторы, преимуществами которых являются:

- ◆ низкая стоимость по сравнению с кораблями и судами в сочетании с большой автономностью;
- ◆ возможность удерживать место в отличие от РГАБ;
- ◆ возможность перенацеливания (маневра) в отличие от РГАБ;
- ◆ многократное использование в отличие от РГАБ.

Таблица 1

Возможные типы ретрансляторов при передаче данных по составному радио-гидроакустическому каналу

Варианты радио-гидроакустических ретрансляторов (РГАР)				
Направления ретрансляции	Формы обработки информации	Длительность функционирования	Размеры	Способы установки
<ul style="list-style-type: none"> • Радио-гидро • Гидро-радио • <u>Двухсторонний</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • С формированием • <u>С</u> • <u>преобразованием</u> • Прямая ретрансляция 	<ul style="list-style-type: none"> • Часы • Сутки • <u>Месяцы</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • Большой • <u>Средний</u> • Малый 	<ul style="list-style-type: none"> • Якорные • Дрейфующие • <u>Глайдерные</u>
3	* 3	* 3	* 3	* 3

Размер зон обслуживания волновым глайдером-ретранслятором определяется устанавливаемой на нем аппаратурой соответствующих диапазонов частот.

В рамках рассматриваемого варианта использования волновой глайдер-ретранслятор представляет собой автономный мобильный агент морской ИИС, выполняющий функции по обслуживанию подводного сегмента сети – функции удаленного сервера в архитектуре «клиент – сервер», точки доступа для абонентов подводного сегмента.

Иллюстрация рассматриваемого варианта информационного обмена с использованием волнового глайдера-ретранслятора приведена на рис. 8.

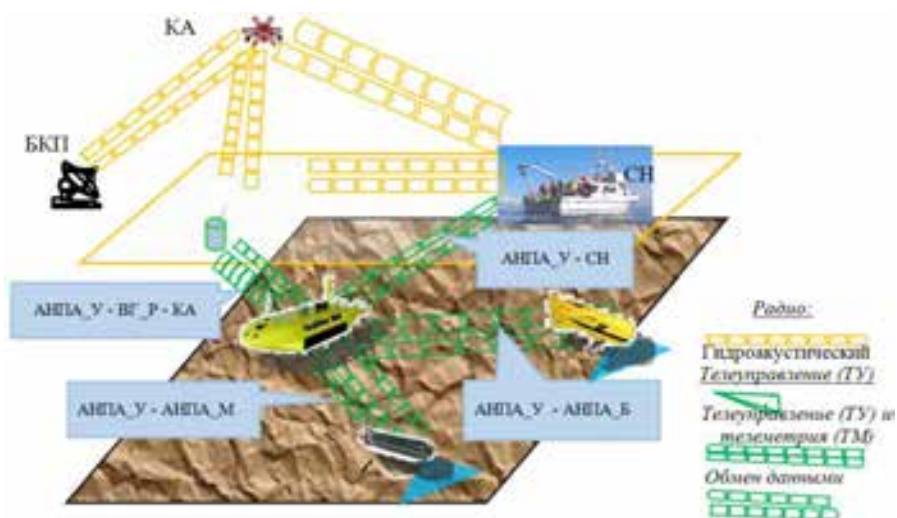


Рис. 8. Вариант реализации информационного обмена при управлении подводными объектами (АНПА)

На рисунке используются обозначения:

- ◆ БКП – береговой командный пост;
- ◆ КА – космический аппарат – ретранслятор;
- ◆ СН – судно-носитель;
- ◆ АНПА_У – автономный необитаемый подводный аппарат управления;

- ◆ АНПА_Б – автономный необитаемый подводный аппарат большой;
- ◆ АНПА_М – автономный необитаемый подводный аппарат малый.

Задача покрытия связью больших по площади акваторий решается использованием группы волновых глайдеров-ретрансляторов, рис. 9. На рисунке используются следующие обозначения:

—|— – волновые глайдеры-ретрансляторы группы;

r – радиус зоны обслуживания радио-гидроакустическим ретранслятором, установленным на одном глайдере ($r \sim 4-6$ км);

R – радиус зоны обслуживания радио-гидроакустических ретрансляторов, установленных на 7-ми глайдерах одной группы ($R \sim 1,5 * D$);

D – дальность прямой радиосвязи между ретрансляторами на «гладкой» поверхности.

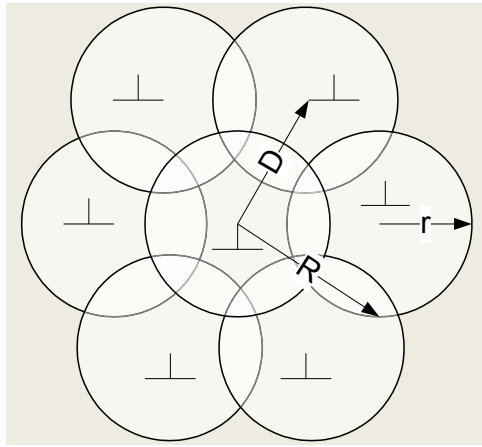


Рис. 9. Возможный вариант использования группы волновых глайдеров

С учетом дальности прямой радиосвязи между ретрансляторами (из расчета $D = 3,57 * (\sqrt{h1} + \sqrt{h2})$, где h - высота антенны, при $h1 = h2 = 1$ м, $D \sim 7$ км; $R \sim 10$ км) группа из семи волновых глайдеров, расставленных в определенном порядке, способна обеспечить зону обслуживания по управлению погруженными объектами на площади более 300 кв.км.

Указанная оценка говорит о возможности реализации устойчивой связи на значительных по площади акваториях с использованием мобильной группировки надводных МРС.

Безусловно, использование волновых глайдеров-ретрансляторов, позволяет повысить эффективность всего комплекса МРС, не только благодаря увеличению площади покрытия акватории связью между погруженными объектами, но также и за счет минимизации числа всплытий подводных глайдеров на свободную поверхность, что приводит к экономии их энергоресурсов, увеличению автономности и скрытности.

5. Основные проблемные вопросы создания системы управления МРС с использованием волновых глайдеров-ретрансляторов. На текущем этапе реализации инициативного проекта СПбГМТУ «Исследования в обеспечение создания глобальной информационно-измерительной сети на основе морских роботизированных систем» могут быть поставлены проблемные вопросы, требующие решения с участием заинтересованных заказчиков.

К таким вопросам относятся следующие:

- ◆ выработка модели использования МРС, в частности, волновых глайдеров-ретрансляторов;
- ◆ выработка оптимального состава полезной нагрузки МРС (удовлетворение требований: малое энергопотребление – продолжительность работы не менее шести месяцев – покрытие значительных акваторий);
- ◆ выработка требований к датчикам/сенсорам, межсредным приемопередающим устройствам волновых глайдеров-ретрансляторов, обеспечивающим эффективное функционирование в рамках конкретной миссии;
- ◆ разработка моделей группового использования МРС;
- ◆ решение вопроса: глайдер – носитель радио-изотопных тепловых генераторов;
- ◆ решение вопроса: глайдер-объект морского права.

Совместное решение указанных вопросов разработчиками и потенциальными заказчиками позволит существенно ускорить процесс становления морской глобальной ИИС.

Заключение. Научно-исследовательские работы по созданию технической платформы глобальной морской информационно-измерительной системы на основе автономных необитаемых аппаратов типа глайдер были выдвинуты СПбГМТУ для участия в «Международном конкурсе научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа» Минэнерго РФ (сентябрь 2015). В результате они были удостоены первой премии конкурса [22]. Указанное говорит о значительном интересе, проявляемом потенциальными потребителями к современным робототехническим решениям, повышающим эффективность и безопасность подводных работ.

В настоящее время в СПбГМТУ реализуются НИР, связанные с использованием различных типов МРС (глайдеров, АНПА класса микро, стационарных донных и береговых систем) для проработки их кооперативного взаимодействия в рамках решения специальных задач. Данные исследования позволяют отработать модельные задачи, получить опыт управления комплексом погруженных объектов, апробировать различные технологии информационного обмена между ними.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hammes T.X.* Technologies Converge and Power Diffuses: The Evolution of Small, Smart, and Cheap Weapons // Policy Analysis. – 2016. – No. 786. – URL: <http://www.cato.org/publications/policy-analysis/technologies-converge-power-diffuses-evolution-small-smart-cheap> (дата обращения: 10.02.2016).
2. *Simonetti P.* Slocum Glider: Design and 1991 field trials. – Webb research corporation, 1992.
3. *Eriksen C.C., Osse T.J., Light R.D., Wen T., Lehman T.W., Sabin P.L., Ballard J.W., Chiodi A.M.* Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – Vol. 26.
4. *Serman J., Davis R., Owens W. B., Valdes J.* The autonomous underwater glider «Spray» // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – Vol. 26. – P. 437-446.
5. *Imlach J.; Mahr R.* Modification of a military grade glider for coastal scientific applications // Sea Technology. – 2012. – Vol. 53, Issue 12. – P.33-38.
6. *D'Spain G., Hildebrand J., Husband W., Stevenson M.* Follow-On Tests of the ZRay Flying Wing Underwater Glider and Waveglider Autonomous Surface Vehicles, and their Passive Acoustic Marine Mammal Monitoring Systems. – Marine Physical Laboratory, Scripps Institution of Oceanography, University of California, 2011.
7. Sea Explorer. – URL: <http://www.acsa-alcen.com/robotics/seaexplorer> (дата обращения: 10.02.2016).

8. Caffaz A., Caiti A., Casalino G., Turetta A. The Hybrid Glider/AUV Folaga // *Robotics & Automation Magazine*, IEEE. – 2010. – Vol. 17, Issue 1. – P. 31-44.
9. Liquid Robotics, Inc. URL: <http://www.liquidr.com/> (дата обращения: 10.02.2016).
10. MOST AV. – URL: <http://www.autonautusv.com/> (дата обращения: 10.02.2016).
11. Ocean Aero, Inc. – URL: <http://www.oceanaero.us/Ocean-Aero-Submaran> (дата обращения: 10.02.2016).
12. Ocean Aero Awarded DoD Contract for Long Range Unmanned Vessel // *NavalDrones*. – URL: <http://www.navaldrone.com/Submaran.html> (дата обращения: 10.02.2016).
13. Исследования в обеспечение создания информационно-измерительной системы на основе необитаемых подводных аппаратов типа «глайдер». Отчеты по 1,2,3 этапам НИР, НИЧ СПбГМТУ, № гос. рег. 01201280856, 2012-2014.
14. Экспериментальные исследования в обеспечение создания автономного необитаемого аппарата типа волновой глайдер. Отчет по НИР, НИЧ СПбГМТУ, 2015.
15. *Рождественский К.В., Рыжов В.А., Ткаченко И.В., Фрумен А.И.* Исследование вертикального погружения аппарата, оснащенного механизмом изменения плавучести при учете профиля плотности и обжатия корпуса // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2013. – № 2 (20). – С. 21-27.
16. *Rozhdestvensky K.V., Ryzhov V.A., Tkachenko I.V., Frumen A.I.* Study of submersion of a Body Equipped with Buoyancy Engine with Account of Density Profile and Hull Compression // *Proceedings of the Society for Underwater Technology Technical Conference (SUTTC2013)*, Sept. 3-5, 2013. – P. 47-56.
17. *Rozhdestvensky K.V.* A View on Development of Underwater Gliders // *Plenary presentation at the Society of Underwater Technology Technical Conference (SUTTC2013)*. – Shanghai, 2 September, 2013.
18. *Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А.* Вопросы гидродинамического проектирования глайдеров нового поколения // *Материалы Девятой научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – С. 121-130.
19. *Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А.* О перспективных разработках СПбГМТУ в области проектирования подводных глайдеров // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2014. – № 12. – С. 32-37.
20. *Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А.* Разработка подводных и волновых глайдеров – элементов морской глобальной информационно-измерительной системы // *Дайджест инновационных проектов*. – СПбГМТУ, 2015. – С. 22-26.
21. *Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А.* Волновой глайдер, как элемент морской глобальной информационно-измерительной системы // *Материалы Девятой научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 101-112.
22. *Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А.* Разработка технической платформы глобальной морской информационно-измерительной системы на основе автономных необитаемых аппаратов типа глайдер // *Российские инновационные технологии для освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа*. – 2016. – С. 91-108.
23. The United States Navy Arctic Roadmap for 2014 to 2030. – URL: http://www.navy.mil/docs/USN_arctic_roadmap.pdf (дата обращения: 10.02.2016).
24. RAO/CIS Offshore 2015. – URL: <http://www.rao-offshore.ru/> (дата обращения: 10.02.2016).
25. CMRE enhances autonomy and integration between Unmanned Vehicles as part of the ICARUS Search and Rescue project. CMRE PAO 24 October 2014. – URL: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/300-cmre-plays-a-crucial-role-in-enhancing-autonomy-and-integration-between-unmanned-vehicles-as-part-of-the-icarus-sar-project> (дата обращения: 10.02.2016).
26. CMRE successfully demonstrates systems for persistent, autonomous and real-time maritime surveillance. CMRE PAO 10 July 2015. – URL: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/320-cmre-successfully-demonstrates-systems-for-persistent-autonomous-and-real-time-maritime-surveillance> (дата обращения: 10.02.2016).
27. BRIDGES Project (Bringing together Research and Industry for the Development of Glider Environmental Services). – URL: <http://www.bridges-h2020.eu/> (дата обращения: 10.02.2016).

28. GROOM Project (Gliders for Research, Ocean Observation and Management). – URL: <http://www.groom-fp7.eu/doku.php> (дата обращения: 10.02.2016).
29. The Portuguese Navy, the CMRE and the University of Porto operate together for the first time in the REP14-Atlantic exercise. 17 July 2014. – URL: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/289-the-portuguese-navy-the-nato-centre-for-maritime-research-and-experimentation-and-the-university-of-porto-operate-together-for-the-first-time-in-the-rep14-atlantic-exercise> (дата обращения: 10.02.2016).
30. Enhanced collaboration with Portugal. CMRE PAO 16 July 2015. – URL: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/322-enhanced-collaboration-with-portugal> (дата обращения: 10.02.2016).
31. ATSA recognised in NSW position paper on Defence // Australian Defence Magazine. 16 Sep 2013. – URL: <http://www.australiandefence.com.au/news/atsa-recognised-in-nsw-position-paper-on-defence> (дата обращения: 10.02.2016).
32. Naval Unmanned // Asian Military Review. 01 June 2015. – URL: <http://www.asianmilitaryreview.com/naval-unmanned/> (дата обращения: 10.02.2016).
33. Liquid Robotics launches Open Oceans Partner Program // Reuters. May 5, 2015. – URL: <http://www.reuters.com/article/idUSnMKWLDmgLa+1f2+MKW20150505> (дата обращения: 10.02.2016).
34. Gady F.-S. Confirmed: US Navy Launches Underwater Drone From Sub. The Diplomat, 24 July 2015. – URL: <http://thediplomat.com/2015/07/confirmed-us-navy-launches-underwater-drone-from-sub/> (дата обращения: 10.02.2016).
35. CoCoRo Project (Collective Cognitive Robots). – URL: <http://cocoro.uni-graz.at/drupal/> (дата обращения: 10.02.2016).

REFERENCES

1. Hammes T.X. Technologies Converge and Power Diffuses: The Evolution of Small, Smart, and Cheap Weapons, *Policy Analysis*, 2016, No. 786. Available at: <http://www.cato.org/publications/policy-analysis/technologies-converge-power-diffuses-evolution-small-smart-cheap> (accessed 10 February 2016).
2. Simonetti P. Slocum Glider: Design and 1991 field trials. Webb research corporation, 1992.
3. Eriksen C.C., Osse T.J., Light R.D., Wen T., Lehman T.W., Sabin P.L., Ballard J.W., Chiodi A.M. Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2001, Vol. 26.
4. Serman J., Davis R., Owens W. B., Valdes J. The autonomous underwater glider «Spray», *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2001, Vol. 26, pp. 437-446.
5. Imlach J.; Mahr R. Modification of a military grade glider for coastal scientific applications, *Sea Technology*, 2012, Vol. 53, Issue 12, pp. 33-38.
6. D'Spain G., Hildebrand J., Husband W., Stevenson M. Follow-On Tests of the ZRay Flying Wing Underwater Glider and Waveglider Autonomous Surface Vehicles, and their Passive Acoustic Marine Mammal Monitoring Systems. Marine Physical Laboratory, Scripps Institution of Oceanography, University of California, 2011.
7. Sea Explorer. Available at: <http://www.acsa-alcen.com/robotics/seaexplorer> (accessed 10 February 2016).
8. Caffaz A., Caiti A., Casalino G., Turetta A. The Hybrid Glider/AUV Folaga, *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 2010, Vol. 17, Issue 1, pp. 31-44.
9. Liquid Robotics, Inc. Available at: <http://www.liquidr.com/> (accessed 10 February 2016).
10. MOST AV. Available at: <http://www.autonautusv.com/> (accessed 10 February 2016).
11. Ocean Aero, Inc. Available at: <http://www.oceanaero.us/Ocean-Aero-Submaran> (accessed 10 February 2016).
12. Ocean Aero Awarded DoD Contract for Long Range Unmanned Vessel // NavalDrones. Available at: <http://www.navaldrone.com/Submaran.html> (accessed 10 February 2016).
13. Issledovaniya v obespechenie sozdaniya informatsionno-izmeritel'noy sistemy na osnove neobitaemykh podvodnykh apparatov tipa «glayder». Otchety po 1,2,3 etapam NIR, NICH SPbGMTU, № gos. reg. 01201280856, 2012-2014 [Research for support the creation of the information and measuring system based on the "glider" type autonomus unmanned underwater vehicles. Technical Reports on 1,2,3 stages, R&D Dept., SMTU, № 01201280856, 2012-2014 (in russian)].

14. Eksperimental'nye issledovaniya v obespechenie sozdaniya avtonomnogo neobitaemogo apparata tipa volnovoy glayder. Otchet po NIR, NICH SPbGMTU, 2015 [Experimental studies for support the creation of the wave glider-type autonomous unmanned vehicles. Technical Report, R&D Dept., SMTU, 2015 (in russian)].
15. Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A., Tkachenko I.V., Frumen A.I. Issledovanie vertikal'nogo pogruzheniya apparata, osnashchennogo mekhanizmom izmeneniya plavuchesti pri uchete profilya plotnosti i obzhatiya korpusa [Study of submersion of a Body Equipped with Buoyancy Engine with Account of Density Profile and Hull Compression], *Morskie intellektual'nye tekhnologii* [Marine Intellectual Technologies], 2013, No. 2 (20), pp. 21-27.
16. Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A., Tkachenko I.V., Frumen A.I. Study of submersion of a Body Equipped with Buoyancy Engine with Account of Density Profile and Hull Compression, *Proceedings of the Society for Underwater Technology Technical Conference (SUTTC2013)*, Sept. 3-5, 2013, pp. 47-56.
17. Rozhdestvenskiy K.V. A View on Development of Underwater Gliders, *Plenary presentation at the Society of Underwater Technology Technical Conference (SUTTC2013)*. Shanghai, 2 September, 2013.
18. Kozhemyakin I.V., Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A. Voprosy gidrodinamicheskogo proektirovaniya glayderov novogo pokoleniya [the issues of hydrodynamic design of the glider of the new generation], *Materialy Devyatoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya»* [Materials of the Ninth scientific and practical conference "Advanced systems and control problems"]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2014, pp. 121-130.
19. Kozhemyakin I.V., Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A. O perspektivnykh razrabotkakh SPbGMTU v oblasti proektirovaniya podvodnykh glayderov [SMTU advanced development in the field of design of underwater gliders], *Morskie intellektual'nye tekhnologii* [Marine Intellectual Technologies], 2014, No. 12, pp. 32-37.
20. Kozhemyakin I.V., Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A. Razrabotka podvodnykh i volnovykh glayderov – elementov morskoy global'noy informatsionno-izmeritel'noy sistemy [Development of the underwater and wave gliders as the marine global information and measurement system elements], *Daydzhest innovatsionnykh proektov* [Digest of innovative projects]. SPbGMTU, 2015, pp. 22-26.
21. Kozhemyakin I.V., Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A. Volnovoy glayder, kak element morskoy global'noy informatsionno-izmeritel'noy sistemy [The wave gliders as the marine global information and measurement system elements], *Materialy Desyatoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya»* [proceedings of the Tenth scientific and practical conference "Advanced systems and control problems"]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2015, pp. 101-112.
22. Kozhemyakin I.V., Rozhdestvenskiy K.V., Ryzhov V.A. Razrabotka tekhnicheskoy platformy global'noy morskoy informatsionno-izmeritel'noy sistemy na osnove avtonomnykh neobitaemykh apparatov tipa glayder [Development of the technical platform of the global maritime information and measuring system based on the glider-type autonomous unmanned vehicles], *Rossiyskie innovatsionnye tekhnologii dlya osvoeniya uglevodorodnykh resursov kontinental'nogo shel'fa* [Russian innovative technologies for OS-voenie hydrocarbon resources of the continental shelf], 2016, pp. 91-108.
23. The United States Navy Arctic Roadmap for 2014 to 2030. Available at: http://www.navy.mil/docs/USN_arctic_roadmap.pdf (accessed 10 February 2016).
24. RAO/CIS Offshore 2015. Available at: <http://www.rao-offshore.ru/> (accessed 10 February 2016).
25. CMRE enhances autonomy and integration between Unmanned Vehicles as part of the ICARUS Search and Rescue project. CMRE PAO 24 October 2014. Available at: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/300-cmre-plays-a-crucial-role-in-enhancing-autonomy-and-integration-between-unmanned-vehicles-as-part-of-the-icarus-sar-project> (accessed 10 February 2016).
26. CMRE successfully demonstrates systems for persistent, autonomous and real-time maritime surveillance. CMRE PAO 10 July 2015. Available at: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/320-cmre-successfully-demonstrates-systems-for-persistent-autonomous-and-real-time-maritime-surveillance> (accessed 10 February 2016).

27. BRIDGES Project (Bringing together Research and Industry for the Development of Glider Environmental Services). Available at: <http://www.bridges-h2020.eu/> (accessed 10 February 2016).
28. GROOM Project (Gliders for Research, Ocean Observation and Management). Available at: <http://www.groom-fp7.eu/doku.php> (accessed 10 February 2016).
29. The Portuguese Navy, the CMRE and the University of Porto operate together for the first time in the REP14-Atlantic exercise. 17 July 2014. Available at: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/289-the-portuguese-navy-the-nato-centre-for-maritime-research-and-experimentation-and-the-university-of-porto-operate-together-for-the-first-time-in-the-rep14-atlantic-exercise> (accessed 10 February 2016).
30. Enhanced collaboration with Portugal. CMRE PAO 16 July 2015. Available at: <http://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/322-enhanced-collaboration-with-portugal> (accessed 10 February 2016).
31. ATSA recognised in NSW position paper on Defence // Australian Defence Magazine. 16 Sep 2013. Available at: <http://www.australiandefence.com.au/news/atsa-recognised-in-nsw-position-paper-on-defence> (accessed 10 February 2016).
32. Naval Unmanned // Asian Military Review. 01 June 2015. Available at: <http://www.asianmilitaryreview.com/naval-unmanned/> (accessed 10 February 2016).
33. Liquid Robotics launches Open Oceans Partner Program // Reuters. May 5, 2015. Available at: <http://www.reuters.com/article/idUSnMKWLDmgLa+1f2+MKW20150505> (accessed 10 February 2016).
34. Gady F.S. Confirmed: US Navy Launches Underwater Drone From Sub. The Diplomat, 24 July 2015. Available at: <http://thediplomat.com/2015/07/confirmed-us-navy-launches-underwater-drone-from-sub/> (accessed 10 February 2016).
35. CoCoRo Project (Collective Cognitive Robots). Available at: <http://cocoro.uni-graz.at/drupal/> (accessed 10 February 2016).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.Д. Скобов.

Блинов Алексей Павлович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; e-mail: blinkov_ap@mail.ru; 190008, г. Санкт-Петербург, ул. Лотманская, 3; тел.: +78127146822; управление оборонных исследований и разработок; начальник отдела.

Кожемякин Игорь Владиленович – e-mail: 1861vp@mail.ru; управление оборонных исследований и разработок; начальник управления.

Рождественский Кирилл Всеволодович – e-mail: kvrxmas@yahoo.com; тел.: +78127142923; управление по международным связям в науке и образовании; начальник управления; д.т.н.; профессор.

Рыжов Владимир Александрович – e-mail: ryzhov@smtu.ru; тел.: +78124940936; кафедра прикладной математики и математического моделирования; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор.

Занин Владислав Юрьевич – ЗАО «Научно-производственное предприятие подводных технологий «Океанос»; e-mail: mfutkflot@gmail.com; 194295, г. Санкт-Петербург, ул. Есенина, 19/2; тел.: +78122923716; советник Генерального директора.

Мелентьев Владимир Дмитриевич – НИЦ РЭВ и Фир ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА»; e-mail: Melenvd@mail.ru; 196602, г. Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Красной звезды, 31; тел.: + 78124653546 (доп.179); старший научный сотрудник, к.т.н.

Blinkov Alexey Pavlovich – Saint-Petersburg State Marine Technical University; e-mail: blinkov_ap@mail.ru; 3, Lotsmanskaya street, St. Petersburg, 190008, Russia; phone: +78127146822; Division of Defense Research and Development; head of department.

Kozhemyakin Igor Vladilenovich – e-mail: 1861vp@mail.ru; Division of Defense Research and Development; head of Division.

Rozhdestvensky Kirill Vsevolodovich – e-mail: kvrxmas@yahoo.com; phone: +78127142923; Division of International Science & Education; head of Division; dr. of eng. sc.; professor.

Ryzhov Vladimir Alexandrovich – e-mail: ryzhov@smtu.ru; phone: +78124940936; the department of applied mathematics and mathematical modeling; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Zanin Vladislav Yur'evich – JSK «Scientific-and-production Enterprise for Underwater Technologies OCEANOS»; e-mail: mfutkflot@gmail.com; 19/2, Esenina street, St. Petersburg, 194295, Russia; phone: +78122923716; Adviser of the General Director.

Melentyev Vladimir Dmitrievich – NIC REV & FIR of Navy NII OSIS of Navy VUNTS of Navy "VMA", e-mail: Melenvd@mail.ru; 31, Krasnoy Zvezdi street, Sankt-Peterburg, 196602, Russia; phone: +78124653546 (ext.179); senior researcher; cand. of eng. sc.

УДК 004.92; 519.876.5

А.Ю. Демин, В.А. Сорокин, И.А. Анферов, А.А. Хамухин

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ*

Рассмотрены проблемы визуализации трехмерной поверхности по картам высот, визуализации процесса имитационного моделирования поведения группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) в 3D пространстве. Для построения трехмерной модели предложено наложение полигональной сетки вершин с заданным шагом на карту высот с последующим формированием модели на основе сформированных трехмерных точек, а также автоматическое текстурирование с помощью анализа высоты полигонов. Для моделирования поведения группы АНПА предложен мультиагентный подход, разработан набор характеристик агентов, среды и их взаимодействие. Представлен результат разработки приложения визуализации процесса моделирования на основе технологии Unity. В качестве модели среды использовано векторное трехмерное поле, определяющее подводные течения и другие состояния среды. В процессе моделирования каждый агент на каждой итерации взаимодействует с моделью среды, получая значения этого поля в точке нахождения подводного аппарата. За счет анализа полученных значений учитывается влияние среды на движение АНПА. Кроме собственных АНПА по подобным законам в подводной среде могут двигаться другие конкурирующие объекты, обнаружение которых и является целью АНПА. Такие объекты могут выпускаться с надводных или подводных аппаратов и следовать через группировку АНПА под различными углами и с различной скоростью. Целью моделирования, в таком случае, является сбор статистических данных о возможности обнаружения посторонних объектов группировкой АНПА при различных вариантах построения и при реализации различных миссий отдельных АНПА. Для визуализации отдельного АНПА была создана высокополигональная анимированная трехмерная модель подводного аппарата с заданными параметрами материалов. Трехмерная модель подводного аппарата создана с помощью инструмента для 3D моделирования Blender. За основу был взят Шведский аппарат фирмы "Sutec". При помощи контроллеров RigidBody и Mesh Collider для объектов были реализованы такие физические свойства, как возможность столкновения с другими объектами и рельефом и воздействие гравитации. При выборе ручного режима предусмотрена возможность управления видом с камеры от третьего лица, для которой включен параметр «дальность видимости» реализованный при помощи шейдера GlobalFog.

Трехмерная визуализация; автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА); подводная обстановка; текстурирование; мультиагентное моделирование; Unity.

* Работа выполнена в рамках Госзадания «Наука».