

Научная статья

УДК 629.127.4-52:62.501.55-531.501

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В СФЕРЕ ЗАДАЧ МЧС РОССИИ

✉ Турсенев Сергей Александрович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

✉ Маевский Андрей Михайлович.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия.

Занин Владислав Юрьевич.

АО «НПП ПТ «Океанос», Санкт-Петербург, Россия

✉ stursenev@yandex.ru

✉ maevskiy_andrey@mail.ru

Аннотация. Одним из перспективных направлений совместных исследований Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, АО НПП ПТ «Океанос» и Санкт-Петербургского государственного морского технического университета сегодня является развитие технологий применения групп морских робототехнических комплексов в области мониторинга и патрулирования подводных потенциально опасных объектов для предупреждения возможных чрезвычайных ситуаций. Развитие данного направления может оказаться полезным для выполнения задач по мониторингу и анализу состояния подводных потенциально опасных объектов, а также идентификации, классификации и составления прогностических моделей распространения, имеющих в акватории загрязнений.

Ключевые слова: морская робототехника, подводные потенциально опасные объекты, подводные аппараты, подводный глайдер, волновой глайдер, системы управления, системы планирования

Для цитирования: Турсенев С.А., Маевский А.М., Занин В.Ю. Использование нейронных сетей для систем планирования перемещения робототехнических комплексов в сфере задач МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 26–39.

Scientific article

THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR SYSTEMS FOR PLANNING THE MOVEMENT OF ROBOTIC COMPLEXES IN THE FIELD OF TASKS OF EMERCOM OF RUSSIA

✉ Tursenev Sergey A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

✉ Maevskiy Andrey M.

Saint-Petersburg state marine technical university, Saint-Petersburg, Russia.

Zanin Vladislav Yu.

JSC «Oceanos», Saint-Petersburg, Russia

✉ stursenev@yandex.ru

✉ maevskiy_andrey@mail.ru

Abstract. One of the promising areas of joint research by the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, JSC «Oceanos» and Saint-Petersburg state marine technical university today is the development of technologies for the use of groups of marine

robotic systems in the field of monitoring and patrolling underwater potentially dangerous objects. The development of this direction may be useful for performing tasks of associated patrolling and analysis of the state of the underwater potentially dangerous objects, as well as for identifying, classifying and compiling predictive models for the spread of pollution present in the water area.

Keywords: marine robotics, underwater potential hazardous objects, underwater vehicles, underwater glider, wave glider, control systems, planning systems

For citation: Tursenev S.A., Maevskiy A.M., Zanin V.Yu. The use of neural networks for systems for planning the movement of robotic complexes in the field of tasks of EMERCOM of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 26–39.

Введение

В настоящее время за рубежом происходит интенсивное внедрение систем морской робототехники в экстренные службы спасения. Примером тому является проект ICARUS [1–2], направленный на интеграцию робототехнических комплексов различного типа в единую комплексную систему [3–4]. В том числе, в данном проекте ведутся разработки в области применения групповых робототехнических систем для решения задач мониторинга и обследования мест возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) [5–7].

Для решения задач, связанных с обнаружением и спасением пострадавших в случае возникновения ЧС, разработчиками рассматривается использование связки традиционных надводных робототехнических комплексов (РТК). Подобные стратегии были проработаны и подробно описаны в работах [8–9], где рассматриваются технологии создания и управления морских РТК (МРТК), способных идентифицировать пострадавших и обеспечить к ним доставку спасательного плавсредства (рис. 1).

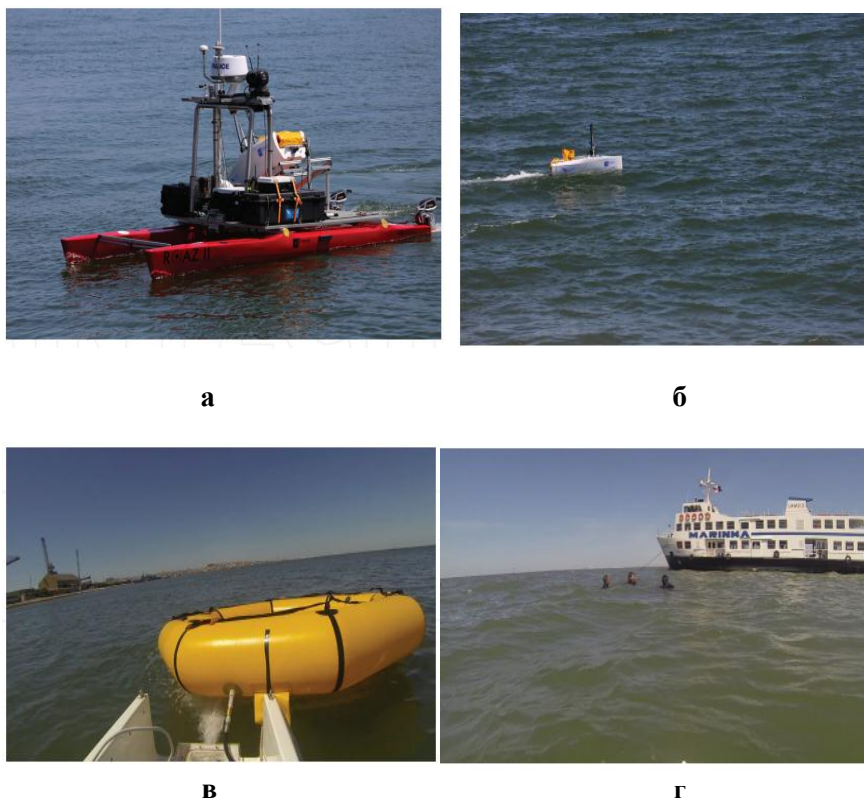


Рис. 1. Технологии создания и управления МРТК, способных идентифицировать пострадавших и обеспечить к ним доставку спасательного плавсредства:
 а – надводный автономный аппарат ROAZ; б – автономная капсула, буксирующая спасательное средство (рис. в) к месту обнаружения пострадавших (рис. г)

Представленный на рис. 1 комплекс работает полностью в автономном режиме. Разработанная система автоматического управления позволяет комплексу самостоятельно осуществить развертывание капсулы с борта автономного аппарата с последующим сбросом спасательного средства и его доставкой к месту ЧС.

Подобные комплексы практически автономны, то есть способны самостоятельно предпринимать определенную последовательность действий в зависимости от ЧС и состояния окружающей среды. Но, к сожалению, разработчики не всегда могут учесть в полном объеме непредвиденные (недетерминированные) воздействия со стороны окружающей среды. Дополнительные ограничения на автономность накладывает сложность организации внутригруппового взаимодействия между аппаратами комплекса. Таким образом, формирование реально автономного или интеллектуального взаимодействия группы аппаратов МРТК для решения задач мониторинга и патрулирования подводных потенциально опасных объектов (ППО) является более трудоемкой и сложной задачей, так как требует многопрофильной проработки комплекса алгоритмов и принципов управления и планирования МРТК.

Имеющиеся в настоящее время разработки по применению гетерогенных групп РТК в целях обеспечения задач по предупреждению ЧС представлены в работе [10], где авторами прорабатываются вопросы использования различных типов РТК (рис. 2).

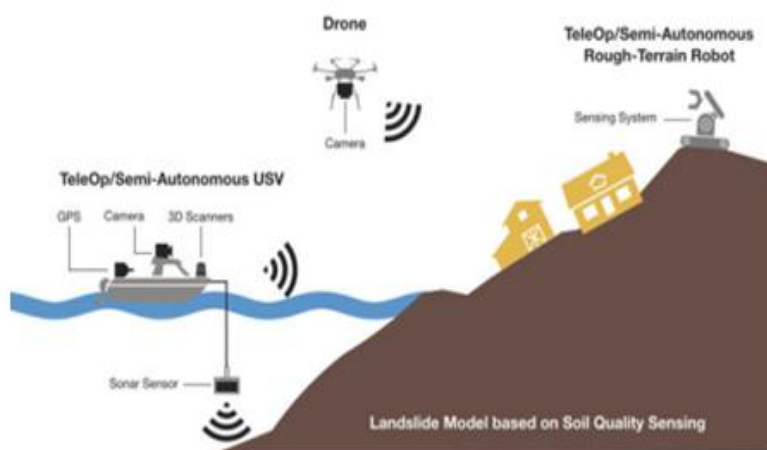


Рис. 2. Схематичный пример работы гетерогенной группы РТК для решения задач мониторинга и обследования

К примеру, в качестве технических средств, применяемых в автоматической системе поиска и информирования о пострадавших в случае возникновения ЧС, разрабатываемой в рамках проекта Авалон, финансируемого Министерством экономики и энергетики Германии, применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), выполняющие патрулирование заданного сектора, в котором искусственный интеллект (ИИ) определяет и классифицирует объекты, находящиеся в зоне видимости сенсорной системы БПЛА [11]. На рис. 3 наглядно показана сложность выполнения комплексных работ, связанных с обнаружением ППО и обследованием ППО, а также поиском и спасением пострадавших в случае возникновения ЧС на море.

Система объединяет в себе многоуровневую алгоритмическую архитектуру (как видно из рис. 3, состоящую из 8 подсистем), а также множество алгоритмов, обеспечивающих перемещение БПЛА в трехмерном пространстве, связь БПЛА с береговым пунктом управления, модулей ИИ, определяющих и классифицирующих объекты в зоне видимости системы технического зрения, и многие другие подсистемы.

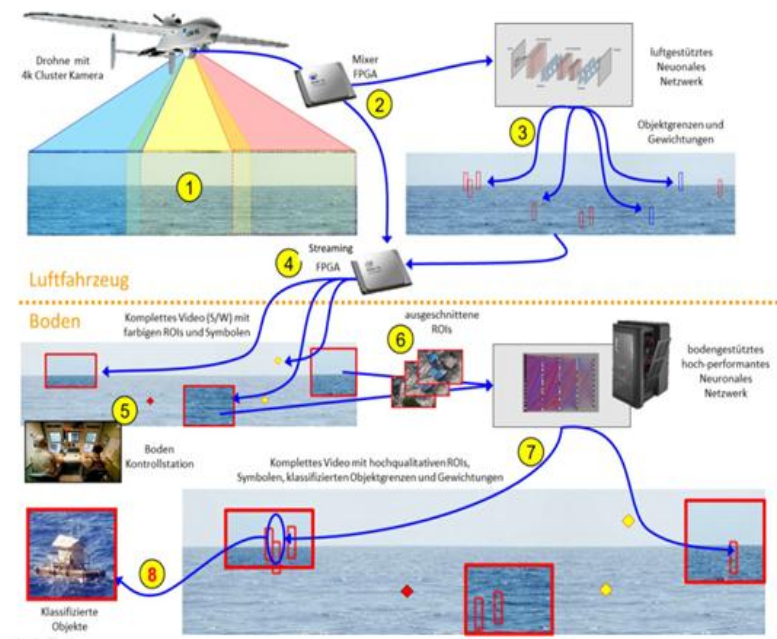


Рис. 3. Схематичное представление частного случая комплексного алгоритма обследования, поиска и спасения пострадавших в случае возникновения ЧС на море

Причем и в столь сложном виде приведенный частный случай не охватывает всех аспектов мониторинга среды при ЧС. Так, конкретно в нем еще не рассмотрена задача мониторинга водной толщи, требующая не только наличия подводных аппаратов МРТК, но и обеспечения межсредного шлюза связи в режиме онлайн для доведения информации от подводных аппаратов МРТК до берегового пункта управления без потерь времени на всплытие. Данная задача при использовании гетерогенных РТК в настоящее время находит решение [12], в том числе и в применении БПЛА типа «квадрокоптер», оснащенных как радиосвязью (канал БПЛА – береговой пульт управления), так системой беспроводной оптической связи и/или опускаемыми станциями гидроакустической связи (каналы связи БПЛА – подводный аппарат МРТК) [13] (рис. 4).

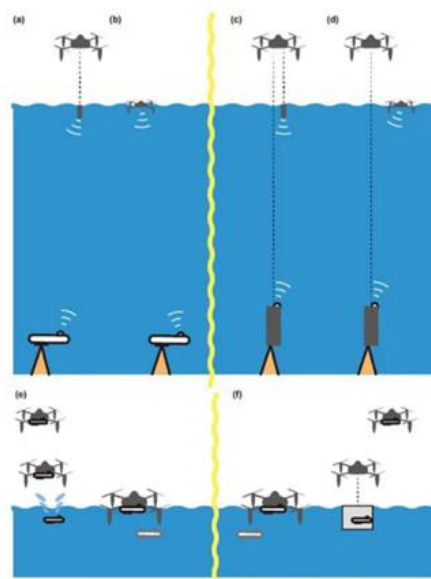


Рис. 4. Схематичное представление организации межсредных шлюзов связи между воздушными и подводными аппаратами гетерогенного МРТК

Текущие развитие систем мониторинга ППО в Российской Федерации

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» в 2013 г. было утверждено Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (Положение). Согласно Положению одной из создаваемых МЧС России функциональных подсистем единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС является функциональная подсистема предупреждения и ликвидации ЧС на ППО во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации. Ключевой задачей функциональной подсистемы является предупреждение ЧС на ППО, а также обследование и оперативный контроль состояния ППО на водных объектах с целью прогнозирования и оценки последствий возможных ЧС. ППО – суда, иные плавсредства, космические и летательные аппараты, в том числе их элементы, и другие технические средства, а также боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические, отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения ЧС [14].

С целью выполнения поставленных задач, подробно описанных в Положении о единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС, ведомства МЧС России должны обеспечивать ежегодное обследование и оперативный контроль имеющихся захоронений радиоактивных отходов в северных и дальневосточных морях с учетом получения и обработки данных о ППО для прогнозирования и оценки последствий возможных ЧС. На данный момент Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (СПБУ ГПС МЧС России) ведет исследование в направлении проработки возможностей применения специализированных робототехнических систем для проведения работ по обследованиям ППО. К таким средствам можно отнести подводные РТК глайдерного типа [15–17]. В тоже время необходима параллельная разработка модели и методики их применения [18–19] для достижения наилучшего результата.

На данный момент в открытых источниках опубликовано, что во внутренних водах Российской Федерации находятся более 17 тыс. контейнеров с радиоактивными отходами (РАО), три атомные подводные лодки (АПЛ), баржа с реактором, выгруженным из АПЛ, пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ядерными энергетическими установками, 19 судов, в том числе более 700 радиоактивных конструкций и блоков [20]. Также многие из перечисленных ППО располагаются в Арктической зоне Российской Федерации.

Контроль загрязнений воды радионуклидами и отравляющими веществами позволяет на ранней стадии зафиксировать начало развития возможной ЧС, принять меры по минимизации попадания опасных веществ в организм человека и, таким образом, контролировать безопасность ППО. Одним из основных условий возможности предупреждения развития ЧС является оперативность получения данных о загрязнении.

Для решения поставленных задач СПБУ ГПС МЧС России, АО НПП ПТ «Океанос» и Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом (СПбГМТУ) предложено использование разнородной группы МРТК для контроля безопасности ППО и сопутствующих технологий, обеспечивающих групповое взаимодействие МРТК. Основными преимуществами применения данных МРТК являются: высокая автономность выполнения обследования ППО, выполнения задачи мониторинга, оперативность получения данных, большая площадь покрытия морской территории.

В качестве полезной нагрузки на аппараты могут быть установлены:

- многопараметрические зонды, получающие информацию о таких параметрах, как скорость звука в воде, температуры, солености, электропроводности [21–22];
- лазерные датчики для определения концентрации метана в воде [23];
- датчики для определения уровня нефтяного загрязнения;

– датчики химических веществ, радионуклидов, фотосинтетического активного излучения в воде и т.д. [24–26].

В качестве примера модели применения группы, состоящей из подводного и волнового глайдера (рис. 5), рассмотрим типовой сценарий обследования территории, на которой расположены три ППОО, связанные с мониторингом нескольких ППОО, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Аппараты способны в автоматическом режиме выполнять заданные миссии по сбору данных о загрязнении воды, в том числе обеспечивая автономный переход из района выпуска в район мониторинга (рис. 5 (в)).

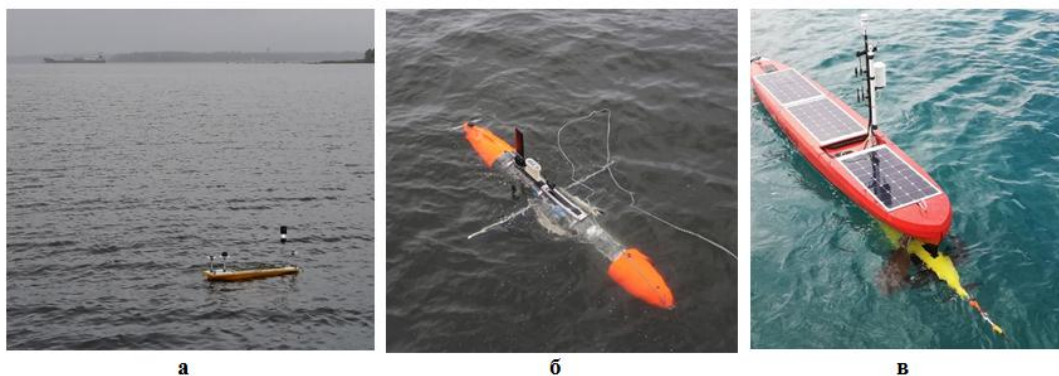


Рис. 5. Ходовые стенды МРТК подводного и волнового глайдеров в натуральных экспериментах:
а – отечественный волновой глайдер; б – отечественный подводный глайдер;
в – волновой глайдер Autonaut в МРТК с подводным глайдером Seaglider

Формальная постановка задачи мониторинга и обследования ППОО и возможные варианты ее решения

Формализованная постановка задачи, описанной выше, представлена на (рис. 6). Предполагается, что у каждого ППОО имеется собственный регион загрязнения из объектов, есть область распространения загрязнений. В зависимости от того, известен ли заранее размер и площадь данной области, можно рассмотреть различные варианты проведения обследования (или покрытия этой зоны). Если область распространения неизвестна, аппарат может двигаться от точки затопления объекта по спирали, постепенно получая данные о распространении загрязнений. Если регион известен заранее, автономная система планирования самостоятельно может сформировать принцип покрытия территории, опираясь на эвристики, заложенные в нее до начала миссии. Также возможна реализация выбора траектории с помощью алгоритма RRT [27] и интеллектуальной системы планирования [28]. Полученные параметры с модулем полезной нагрузки с учетом привязки данных к координатам и времени могут обеспечить оперативное построение модели загрязнения (или возможного загрязнения) на борту исследовательского судна или берегового поста управления.

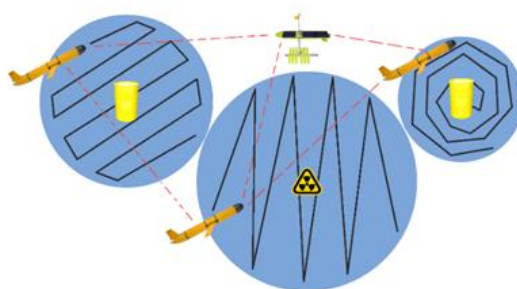


Рис. 6. Схематичное представление модели применения группы из подводного и волнового глайдера для решения задачи обследования нескольких мест нахождения ППОО

В случае, когда необходимо обеспечить обследование одного ППОО, также имеются варианты как одиночного, так и группового применения связки подводного и волнового глайдера (рис. 7).

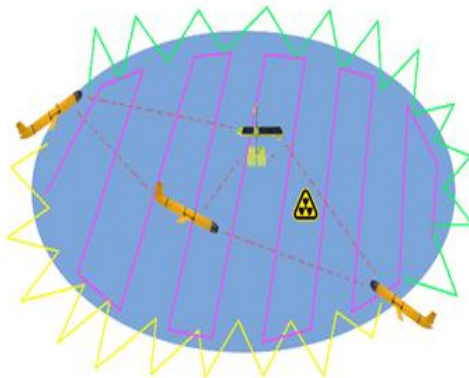


Рис. 7. Пример модели использования гетерогенной группы МРТК для мониторинга области загрязнения: сплошные линии обозначают траектории движения; пунктирные линии обозначают информационную сеть

Как видно на рис. 7, группа из двух подводных глайдеров обеспечивает полное покрытие заданной области акватории как по периметру (перемещение глайдера по желтой и зеленой траектории), так и по внутренней площади (галсы). Волновой глайдер, в свою очередь, выполняет корректирующую функцию, обеспечивая надводный связующий узел между глайдерами и пунктом контроля и управления. Предложенная модель применения группы аппаратов позволяет проводить мониторинг в короткие сроки и с повышенным качеством.

Применение МРТК в современных условиях, как правило, подразумевает выполнение задач без предварительного детального картографирования в больших открытых акваториях с различной глубиной, рельефом дна и постоянно меняющимися воздействиями на периодических и аperiodических основах. Помимо этого, подводная среда накладывает существенные ограничения на возможность применения сенсорных систем роботов, системы связи и навигации, выставляет дополнительные требования по учету энергетической, конструкционной специфики управляемого объекта и условий района планируемых работ. Для учета данных особенностей функционирования авторы решили проработать вопрос создания такой системы планирования и перемещения группы МРТК, в составе которой можно было бы использовать технологии ИИ и машинного обучения, что позволило бы повысить автономность и расширить функциональность применения группы МРТК, в том числе для применения в разнородной группе МРТК, состоящей из подводных и волновых глайдеров, для решения задач МЧС России, применение которых сейчас тщательно прорабатывается коллективами СПбУ ГПС МЧС России, АО НПП ПТ «Океанос» и СПбГМТУ [29–30].

Разрабатываемая система имеет следующую архитектуру и включает в себя следующие модули:

- модуль глобального планирования, позволяющий обеспечить перемещение объекта в среде без наличия предварительного картографирования, на основе метода RRT*. Авторами была проведена адаптация алгоритма для его использования в условиях морской среды;
- модуль логики взаимодействия между агентами группы, формирующий адаптивную область взаимодействия группы, а также модуль системы единого поля видимости группы. Совокупность этих двух модулей позволяет обеспечить интеллектуальную систему планирования принятием наилучших решений в процессе работы группы МРТК;

– модули нейросетевого планирования одиночного агента и группы МРТК в целом, обеспечивающая формирование управляющих сигналов на исполнительные механизмы каждого агента группы и организацию внутригрупповых алгоритмов взаимодействия агентов друг с другом.

Архитектура разрабатываемой интеллектуальной системы планирования представлена на рис. 8.

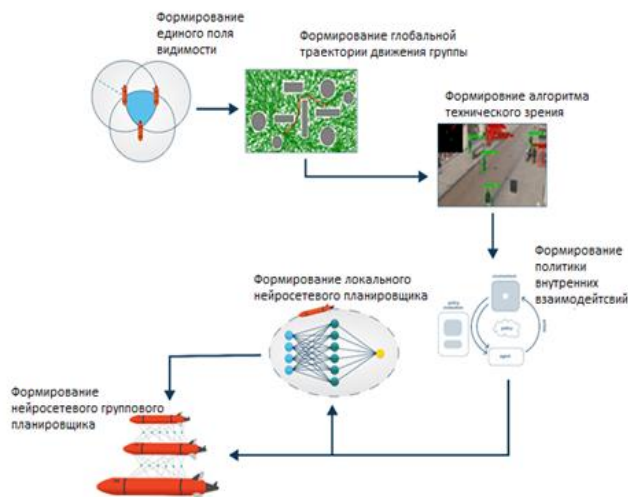


Рис. 8. Интеллектуальная система планирования перемещения группы МРТК для решения задач обнаружения, обследования и мониторинга ПШОО

Был разработан комплекс моделирования, в основе которого лежит фреймворк ROS и входящие в его состав программные компоненты Gazebo и Rviz. В качестве двухмерной модели для первоначальной отработки использовалась модель turtlebot3.

Результаты проведенного имитационного моделирования перемещения группы МРТК и натурного эксперимента представлены на рис. 9, 10.

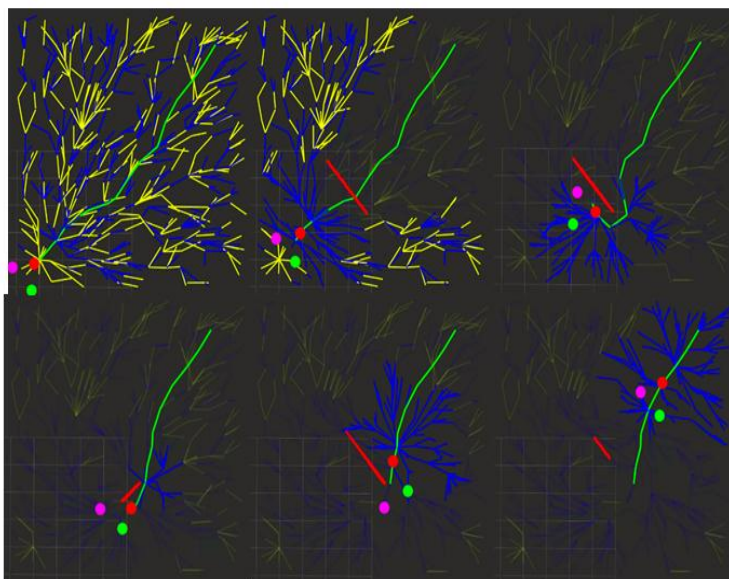


Рис. 9. Формирование глобальной траекторий перемещения группы МРТК при имитационном моделировании в АО НПП ПТ «Океанос»

Следует отметить, что алгоритм RRT, формирующий глобальную траекторию (зеленая), в данном случае был улучшен таким образом, что при движении точки группы происходит смена «корня» дерева (центр группы). Это позволяет более эффективно находить новый путь за счет перестроения структуры дерева (синие ветви) в режиме реального времени (затемненные ветви, не принимают участие в дальнейшем формировании траектории). Также данная доработка позволяет существенно сократить используемые вычислительные мощности на борту аппарата.

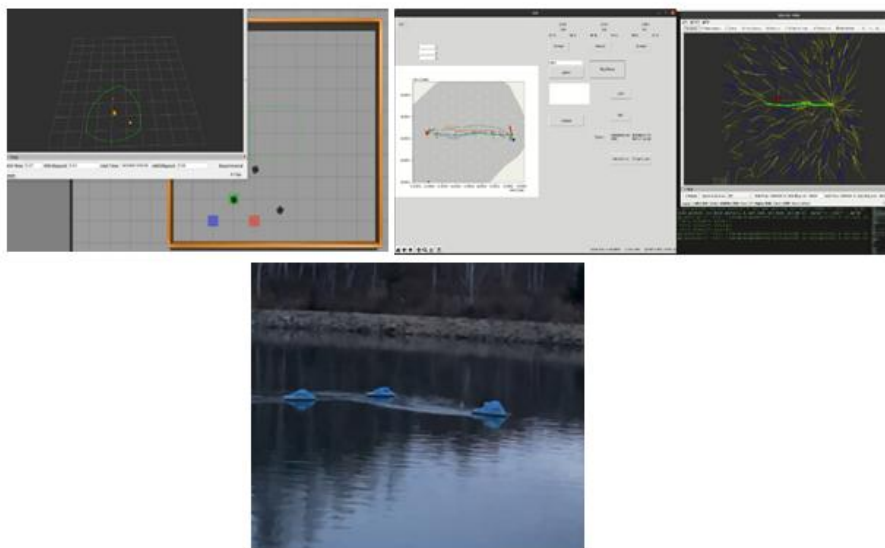


Рис. 10. Проведение натурального эксперимента АО НПП ПТ «Океанос» на макетах мини-катеров, имитирующих подводные и волновой глайдеры, с учетом формирования адаптивной области взаимодействия группы МРТК

Заключение

Представленный в работе подход к обследованию и анализу ППОО, а также возможных загрязнений заданного региона основан на применении группы морских робототехнических систем глайдерного типа. Применение такой группы потенциально позволяет осуществить оперативное пространственное 3D обследование области загрязнения, сформировать уточненные пространственные контуры загрязнения в режиме реального времени, обеспечить построение прогностических моделей большой достоверности. Целесообразность применения подводных и волновых глайдеров рассмотрена на формализованных примерах решения задач по обследованию и мониторингу региона ППОО, а также обеспечивается потенциальная увязка с робототехническими технологиями резидентного базирования в составе морских мониторинговых обсерваторий [31–34], что позволяет существенно сократить время и стоимость работ с одновременным повышением эффективности.

Технологии ИИ способны во многом облегчить и расширить функциональные возможности применения групп МРТК. Системы интеллектуальной идентификации и кластеризации способны предоставлять необходимую информацию о месторасположении точек возникновения ЧС или ППОО, характере ЧС, наличии в зоне ЧС пострадавших и многое другое. Наличие такого количества параметров, характеризующих область функционирования группы МРТК, позволяет, в свою очередь, реализовать интеллектуальные технологии планирования действия как однородной, так и разнородной группы роботов.

Представленная в работе система демонстрирует возможность применения нейросетевых подходов и методов машинного обучения, позволяющих сформировать логику внутригруппового взаимодействия между агентами группы МРТК.

Дальнейшая разработка отдельных модулей глубокого обучения агентов в группе на основе данных от систем технического зрения, модулей полезной нагрузки и модулей навигации МРТК позволит реализовать масштабируемую, децентрализованную систему группового управления МРТК.

Разработанный программно-имитационный комплекс на основе систем ROS, Rviz, Gazebo и библиотек машинного обучения позволяет моделировать сценарии применения МРТК в решении задач обнаружения, патрулирования и мониторинга ППО с учетом возможности программно-аппаратной отработки и верификации на имеющихся макетах мини-катеров, автономных необитаемых подводных аппаратах и других образцов РТК.

Моделирование проводилось в условиях 2D функционирования, однако имеющаяся архитектура и модульный принцип построения системы планирования позволяет реализовать систему в условиях применения в трехмерных средах, что является дальнейшим направлением работы авторов.

Успех выполняемых работ также обеспечивается устойчивым обеспечением связи между агентами МРТК. В подводной среде связь и навигация осуществляется посредством комбинированного гидроакустического модема – системы навигации с ультракороткой базы разработки и производства СПбГМТУ (35), в воздушной среде связь осуществлена через Wi-Fi и LoRa каналы.

Имеющийся на данный момент экспериментальный образец МРТК мониторинга ППО в составе подводного и волнового глайдера, а также представленные наработки апробированы в ходе проведения межведомственного опытно-исследовательского учения сил и средств единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации («Безопасная Арктика – 2023») в апреле 2023 г. для решения опытно-исследовательской задачи по мониторингу радиационной обстановки в зоне условной аварии на атомном ледоколе в г. Мурманске.

Список источников

1. Robotic systems and applications / A. Kakogawa [et al.] // InTech. 2020.
2. 3D registration and integrated segmentation framework for heterogeneous unmanned robotic systems / H. Balta [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 10. P. 1608.
3. Baudoin Y., De Cubber G., Cepolina E. Mobile robots supporting risky interventions, humanitarian actions and demining, in particular the promising DISARMADILLO Tool // Robotics for risky interventions and environmental surveillance: in proceedings of TC17-VRRISE2021 – A VIRTUAL topical event of technical committee on measurement and control of robotics (TC17), International measurement confederation (IMEKO). Houston, TX, USA, 2021. P. 5–6.
4. Demonstrating interoperability between unmanned ground systems and command and control systems / K. Mathiassen [et al.] // International journal of intelligent defence support systems. 2021. Vol. 6. Iss. 2. P. 100–129.
5. Operational validation of search and rescue robots / G. De Cubber [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
6. Interoperability in a heterogeneous team of search and rescue robots / D.S. López [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
7. A proof of concept of the in-flight launch of unmanned aerial vehicles in a search and rescue scenario / N. Nauwynck [et al.] // ACTA IMEKO. 2019. Vol. 8. Iss. 4. P. 13–19.
8. Ferreira B., Matos A., Alves J. Water jet propelled autonomous surface vehicle UCAP: System description and control // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2016 Shanghai conference. Shanghai, China: IEEE, 2016.
9. Field experiments for marine casualty detection with autonomous surface vehicles / A. Martins [et al.] // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2013 San Diego conference. San Diego, USA: IEEE, 2013.

10. A detection method of the rescue targets in the marine casualty based on improved YOLOv5s / Bai Jing [et al.] // *Frontiers in neurorobotics*. 2022. Vol. 16. DOI: 10.3389/fnbot.2022.1053124.
11. What is the goal of Avalon? // *SeaDronesSee*. URL: <https://seadronessee.cs.uni-tuebingen.de/avalon> 2023 (дата обращения: 13.01.2023).
12. Zolich A. Thesis highlights how unmanned vehicles can be utilised to boost selected maritime natural sciences research scenarios in remote locations, such as the Arctic. Trondheim: Norwegian university of science and technology, 2019.
13. Yusuke Yokota, Takumi Matsuda. Underwater communication using UAVs to realize high-speed AUV deployment // *Remote Sens*. 2021. № 13 (20). 4173. DOI: 10.3390/rs13204173.
14. Вялышев А.Н. МЧС России и подводные потенциально опасные объекты // *Технологии гражданской безопасности*. 2017. № 1 (51). Т. 14. С. 4–10.
15. Разработка автономных необитаемых подводных глайдеров / И.В. Кожемякин [и др.] // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2013. № 3 (140). С. 31–39.
16. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности // *Перспективные системы и задачи управления: материалы IX науч.-практ. конф.* 2014. С. 211–218.
17. Волновой глайдер как элемент морской глобальной информационно-измерительной системы / И.В. Кожемякин [и др.] // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2015. С. 59–71.
18. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Аспекты практического применения подводных глайдеров на базе опытной эксплуатации // *Новый оборонный заказ*. 2016. № 4 (41). С. 78–81.
19. Применение подводных глайдеров для геолого-разведки // *RoboTrends*.
20. Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения / А.А. Саркисов [и др.] // *Арктика. Экология и экономика*. 2011. № 1. С. 70–81.
21. Howatt T., Ross T., Waterman S. University of British Columbia; Institute of ocean sciences ocean gliders to study baleen whale habitat in roseway basin.
22. Fuchs H.L., Gerbi G.P. Seascape-level variation in turbulence- and wave-generated hydrodynamic signals experienced by plankton // *Prog. Oceanogr*. 2016. № 141. P. 109–129.
23. Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys / M. Russell-Cargill Louise [et al.] // *The APPEA Journal*. 2018. № 58. P. 367–380.
24. Thomas J. Ryan-Keogh, Walker O. Smith. Temporal patterns of iron limitation in the Ross Sea as determined from chlorophyll fluorescence // *Journal of marine systems*. 2021. № 215:103500.
25. FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders / F. Carvalho [et al.] // *Limnol oceanogr methods*. 2020. № 18. P. 531–545.
26. Электронный каталог оборудования ООО «СИТИКРИМ» на вэб-ресурсе. URL: http://seatechrim.ru/levre_menu/oborudovanie1/analiz_morskoj_vody/datchiki/ (дата обращения: 14.10.2022).
27. Maevskiy A., Gorelyi A., Morozov R. Development of a hybrid method for planning the movement of a group of marine robotic complexes in a priori unknown environment with obstacles // *22nd International conference of young professionals in electron devices and materials*. 2021.
28. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / В.Х. Пшихопов [и др.] // *ФИЗМАТЛИТ*. 2014. № 595.
29. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов // *Вести газовой науки*. 2019. № 2 (39). С. 29–40.
30. Разработка и исследование позиционно-траекторного регулятора для управления движением подводного глайдера / Б.В. Гуренко [и др.] // *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 6 (57). P. 20.

31. Маевский А.М., Печайко И.А., Турсенев С.А. Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (62). С. 32–39.

32. Маевский А.М., Занин В.Ю., Турсенев С.А. Применение групп автономных необитаемых подводных аппаратов планерного типа в качестве систем мониторинга подводных потенциально-опасных объектов на примере мониторинга экологического состояния акватории при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 2. С. 25–32.

33. Занин В.Ю., Кожемякин И.В., Маевский А.М. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт // Морские информационно-управляющие системы. 2020. № 1 (17). С. 94–102.

34. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий / В.Ю. Занин [и др.] // Междунар. конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа: сб. работ лауреатов 2019 г. 2019. С. 14–22.

35. Кожемякин И.В. Инновационные технологии морской робототехники // Санкт-Петербургский вестник высшей школы. 2020. № 10 (165).

References

1. Robotic systems and applications / A. Kakogawa [et al.] // InTech. 2020.
2. 3D registration and integrated segmentation framework for heterogeneous unmanned robotic systems / H. Balta [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 10. P. 1608.
3. Baudoin Y., De Cubber G., Cepolina E. Mobile robots supporting risky interventions, humanitarian actions and demining, in particular the promising DISARMADILLO Tool // Robotics for risky interventions and environmental surveillance: in proceedings of TC17-VRISE2021 – A VIRTUAL topical event of technical committee on measurement and control of robotics (TC17), International measurement confederation (IMEKO). Houston, TX, USA, 2021. P. 5–6.
4. Demonstrating interoperability between unmanned ground systems and command and control systems / K. Mathiassen [et al.] // International journal of intelligent defence support systems. 2021. Vol. 6. Iss. 2. P. 100–129.
5. Operational validation of search and rescue robots / G. De Cubber [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
6. Interoperability in a heterogeneous team of search and rescue robots / D.S. López [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
7. A proof of concept of the in-flight launch of unmanned aerial vehicles in a search and rescue scenario / N. Nauwynck [et al.] // ACTA IMEKO. 2019. Vol. 8. Iss. 4. P. 13–19.
8. Ferreira B., Matos A., Alves J. Water jet propelled autonomous surface vehicle UCAP: System description and control // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2016 Shanghai conference. Shanghai, China: IEEE, 2016.
9. Field experiments for marine casualty detection with autonomous surface vehicles / A. Martins [et al.] // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2013 San Diego conference. San Diego, USA: IEEE, 2013.
10. A detection method of the rescue targets in the marine casualty based on improved YOLOv5s / Bai Jing [et al.] // Frontiers in neurorobotics. 2022. Vol. 16. DOI: 10.3389/fnbot.2022.1053124.
11. What is the goal of Avalon? // SeaDronesSee. URL: <https://seadronessee.cs.uni-tuebingen.de/avalon> 2023 (data obrashcheniya: 13.01.2023).
12. Zolich A. Thesis highlights how unmanned vehicles can be utilised to boost selected maritime natural sciences research scenarios in remote locations, such as the Arctic. Trondheim: Norwegian university of science and technology, 2019.

13. Yusuke Yokota, Takumi Matsuda. Underwater communication using UAVs to realize high-speed AUV deployment // *Remote Sens.* 2021. № 13 (20). 4173. DOI: 10.3390/rs13204173.
14. Vyalyshev A.N. MCHS Rossii i podvodnye potencial'no opasnye ob"ekty // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti.* 2017. № 1 (51). T. 14. C. 4–10.
15. Razrabotka avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh glajderov / I.V. Kozhemyakin [i dr.] // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* 2013. № 3 (140). S. 31–39.
16. Gajkovich B.A., Zanin V.Yu. Voprosy sozdaniya semejstva morskikh glajderov kak elementov global'noj sistemy morskoy bezopasnosti // *Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya: materialy IX nauch.-prakt. konf.* 2014. S. 211–218.
17. Volnovoj glajder kak element morskoy global'noj informacionno-izmeritel'noj sistemy / I.V. Kozhemyakin [i dr.] // *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki.* 2015. S. 59–71.
18. Gajkovich B.A., Zanin V.Yu., Kozhemyakin I.V. Aspekty prakticheskogo primeneniya podvodnyh glajderov na baze opytnoj ekspluatacii // *Novyj oboronnyj zakaz.* 2016. № 4 (41). S. 78–81.
19. Primenenie podvodnyh glajderov dlya geologo-razvedki // *RoboTrends.*
20. Problemy radiacionnoj reabilitacii arkticheskikh morej, sposoby i puti ih resheniya / A.A. Sarkisov [i dr.] // *Arktika. Ekologiya i ekonomika.* 2011. № 1. S. 70–81.
21. Howatt T., Ross T., Waterman S. University of British Columbia; Institute of ocean sciences ocean gliders to study baleen whale habitat in roseway basin.
22. Fuchs H.L., Gerbi G.P. Seascape-level variation in turbulence- and wave-generated hydrodynamic signals experienced by plankton // *Prog. Oceanogr.* 2016. № 141. P. 109–129.
23. Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys / M. Russell-Cargill Louise [et al.] // *The APPEA Journal.* 2018. № 58. P. 367–380.
24. Thomas J. Ryan-Keogh, Walker O. Smith. Temporal patterns of iron limitation in the Ross Sea as determined from chlorophyll fluorescence // *Journal of marine systems.* 2021. № 215: 103500.
25. FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders / F. Carvalho [et al.] // *Limnol oceanogr methods.* 2020. № 18. P. 531–545.
26. Elektronnyj katalog oborudovaniya OOO «SITIKRIM» na veb-resurse. URL: http://seatechrim.ru/levre_menyu/oborudovanie1/analiz_morskoy_vody/datchiki/ (data obrashcheniya: 14.10.2022).
27. Maevskiy A., Gorelyi A., Morozov R. Development of a hybrid method for planning the movement of a group of marine robotic complexes in a priori unknown environment with obstacles // *22nd International conference of young professionals in electron devices and materials.* 2021.
28. Intellektual'noe planirovanie traektorij podvizhnyh ob"ektov v sredah s prepyatstviyami / V.H. Pshihopov [i dr.] // *FIZMATLIT.* 2014. № 595.
29. Maevskij A.M., Gajkovich B.A. Razrabotka gibridnyh avtonomnyh neobitaemyh apparatov dlya issledovaniya mestorozhdenij uglevodorodov // *Vesti gazovoj nauki.* 2019. № 2 (39). S. 29–40.
30. Razrabotka i issledovanie pozicionno-traektornogo regul'yatora dlya upravleniya dvizheniem podvodnogo glajdera / B.V. Gurenko [i dr.] // *Inzhenernyj vestnik Dona.* 2019. № 6 (57). P. 20.
31. Maevskij A.M., Pechajko I.A., Tursenev S.A. Primenenie morskikh robototekhnicheskikh kompleksov dlya monitoringa i analiza potencial'no opasnyh podvodnyh ob"ektov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere.* 2021. № 2 (62). S. 32–39.
32. Maevskij A.M., Zanin V.Yu., Tursenev S.A. Primenenie grupp avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh apparatov planernogo tipa v kachestve sistem monitoringa podvodnyh potencial'no-opasnyh ob"ektov na primere monitoringa ekologicheskogo sostoyaniya akvatorii pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij, svyazannyh s avarijnymi razlivami nefi i nefteproduktov // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii».* 2021. № 2. S. 25–32.
33. Zanin V.Yu., Kozhemyakin I.V., Maevskij A.M. Ispol'zovanie morskoy robototekhniki v zadachah operativnoj okeanografii: otechestvennyj i zarubezhnyj opyt // *Morskie informacionno-upravlyayushchie sistemy.* 2020. № 1 (17). S. 94–102.

34. Razrabotka elementov podvodnyh robototekhnicheskikh rezidentnyh sistem na primere otechestvennogo avtonomnogo neobitaemogo podvodnogo apparata intervencionnogo klassa i sopushtvuyushchih tekhnologij / V. Yu. Zanin [i dr.] // Mezhdunar. konkursa nauchnyh, nauchno-tekhnicheskikh i innovacionnyh razrabotok, napravlennyh na razvitie i osvoenie Arktiki i kontinental'nogo shel'fa: sb. rabot laureatov 2019 g. 2019. S. 14–22.

35. Kozhemyakin I.V. Innovacionnye tekhnologii morskoy robototekhniki // Sankt-Peterburgskij vestnik vysshej shkoly. 2020. № 10 (165).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.03.2022; одобрена после рецензирования: 20.04.2022; принята к публикации: 21.04.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 07.03.2022; approved after review: 20.04.2022; accepted for publication: 21.04.2022

Сведения об авторах:

Турсенев Сергей Александрович, начальник кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: stursenev@yandex.ru

Маевский Андрей Михайлович, руководитель отдела морской робототехники Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (190121, Санкт-Петербург, ул. Лодманская, д. 3), e-mail: maevskiy_andrey@mail.ru

Занин Владислав Юрьевич, советник генерального директора АО «НПП ПТ «Океанос» (194295, Санкт-Петербург, ул. Есенина, д. 19)

Information about the authors:

Tursenev Sergey A., head of the department of fire fighting and rescue operations of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: stursenev@yandex.ru

Maevskiy Andrey M., head of marine robotics department of Saint-Petersburg state marine technical university (190121, Saint-Petersburg, Licmanckaya str., 3), e-mail: maevskiy_andrey@mail.ru

Zanin Vladislav Yu., CEO's councilor JSC «Oceanos» (194295, Saint-Petersburg, Esenina str., 19)