

**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».

A.Y. Demin, V.A. Sorokin, I.A. Anfyerov, A.A. Khamuhin

## VISUALIZING OF OF UNMANNED UNDERWATER VEHICLES GROUP SIMULATION MODELING

*The paper reviews the issues related to the visualization of three-dimensional surface based on the height maps and Autonomous Underwater Vehicle (AUV) group simulation modeling in 3D space. In order to construct 3D models we propose to place the polygonal mesh of vertices with the given step over the height map, followed by the model being formed on the basis of obtained 3D array of points. 3D model is built upon using this array, as well as its automatic texturing by analyzing the height of the polygons to increase realism. To simulate the behaviour of AUV groups, a multi-agent approach is proposed and a set of agents' characteristics, features of its environment and their interactions are developed. As the results in the designed application we describe the modeling process visualization based on Unity-technology. A 3D vector field that defines the undercurrents as well as some other states of the environment is used as the model of the environment. During the simulation, each agent being iterated interacts with the model of the environment, reaching the value of this field at the position of the underwater vehicle. Analyzing the obtained values we take into account the influence of the environment on the movement of the AUV. Besides the native AUVs, some other competing objects can move in the underwater environment in a similar way. It is the aim of AUVs to detect them. Such objects can be launched both from the surface and underwater vehicles, and go through the alignment of some AUVs at different angles and at different speeds. In this case, the purpose of the simulation is to collect statistics on whether it's possible to detect foreign objects by AUV group in different types of alignment while implementing various missions of individual AUVs. To visualize a single AUV we created a high-polygonal animated 3D model of the underwater vehicle with the specified materials parameters. The 3D model of the underwater vehicle is designed with Blender, the tool for 3D modeling. Sutec designed by the Swedish company was taken as a basis. Mesh Collider and Rigidbody controllers were used to assure some physical properties like the possibility of collision with other objects and terrain, and the effects of gravity. The manual mode provides the ability to control the camera view from a third party, for which the parameter "range" is implemented using GlobalFog shader.*

*Three-dimensional visualization; Autonomous Underwater Vehicle (AUV); underwater environment; texturization; multiagent simulation; Unity.*

**Введение.** Робототехнические комплексы используются во многих областях человеческой деятельности, в первую очередь там, где присутствие человека невозможно или затруднено. Примером использования роботов в таких условиях может быть проведение подводных исследований с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Проблемам создания и управления интеллектуальных робототехнических систем для вскрытия и исследования подводной обстановки посвящено достаточное число научных работ [1–3]. Можно отметить, что разработчики АНПА достаточно хорошо проработали решения основных проблем, возникающие при проектировании и управления отдельными аппаратами, такие как:

- ◆ создание аппаратно-программных средств [4–7];
- ◆ распознавание подводных объектов и построение сцен [8, 9];
- ◆ планирование маршрутов движения АНПА и проектирование миссий [5, 10];
- ◆ управление движением с учетом динамики АНПА [1, 11].

Одной из наиболее сложных проблем является применение групп АНПА. Групповое использование АНПА может решить следующие задачи:

- ◆ увеличить радиус поисковых и исследовательских работ;
- ◆ расширить набор выполняемых функций;
- ◆ увеличить вероятность выполнения миссии.

Однако при использовании АНПА в группе возникает ряд новых проблем. Прежде всего это проблемы, касающиеся организации взаимодействия подводных аппаратов как внутри группы, так и с надводными средствами. Во-вторых, это проблема организации связи между АНПА [12]. В-третьих, это проблема группового планирования.

Одним из перспективных направлений для решения перечисленных проблем представляется использование имитационного моделирования поведения АНПА в группе на основе мультиагентного подхода. Применение такого подхода при групповом планировании позволяет разработать алгоритмы для решения ряда подзадач:

- ◆ формирование заданной конфигурации группы АНПА в 3D пространстве;
- ◆ поддержание конфигурации группы АНПА при движении и изменении внешних условий;
- ◆ перемещение группы аппаратов по заданной траектории;
- ◆ анализ возможности обнаружения группой АНПА «враждебных» подвижных объектов.

Необходимо отметить, что при большом количестве публикаций по моделированию поведения отдельных подводных аппаратов [13–16], существует гораздо меньше работ по имитационному моделированию групп АНПА [17–19].

Особую важность при мультиагентном подходе приобретает задача визуализации процесса и результатов моделирования [20–22].

В данной работе описан подход 3D визуализации работы мультиагентной модели построения и движения группы АНПА для обнаружения посторонних движущихся объектов.

**Построение 3D рельефа.** Для описания реальных объектов, таких как, например, рельеф морского дна, в геоинформационных системах (ГИС) используются различные способы организации данных, выбор которых определяется целью их использования, а также способом их получения и хранения.

Одним из наиболее часто применяемых является растровый способ организации данных ГИС, в котором дискретизация данных осуществляется путем отображения исследуемого объекта в пространственные ячейки, образующие регулярную сеть. Каждая ячейка хранит значение, усредняющее характеристику участка поверхности объекта [1].

Растровые данные могут быть получены с помощью аэрофотосъемки, спутниковой съемки, дистанционного зондирования. Особенность таких данных в том, что они отображают поверхность непрерывно, и хранятся в виде непрерывного поля значений (поверхности), на основе которых в дальнейшем возможно построения карт высот.

Карты высот (рис. 1) – это двумерные массивы, используемые для хранения высот ландшафта. Обычно они хранятся как изображения с 8-разрядными градациями серого, где каждая точка изображения хранит высоту ландшафта в соответствующей позиции. Цвет каждого пикселя такого изображения обозначает высоту конкретной области, чем светлее пиксель – тем выше данная точка. На основе таких карт можно строить детализированные модели реальных ландшафтов.

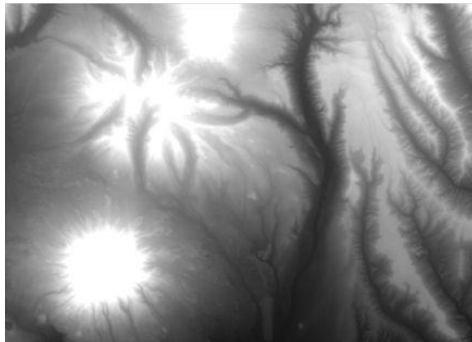


Рис. 1. Карта высот

Для построения трехмерной модели на карту высот накладывается полигональная сетка вершин, значения в узлах которой используются как положения точки в пространстве. В зависимости от шага накладываемой сетки зависит детализация и гладкость будущей модели. Чем меньше расстояние между вершинами, тем более детализирована будет созданная модель [23]. На основании полученной матрицы трехмерных точек создается трехмерная модель.

Для придания реалистичности созданному ландшафту в трехмерной графике применяется текстурирование моделей, что позволяет увеличить детализованность изображения, не добавляя в сцену дополнительную геометрию. На основе анализа высот матрицы вершин на модель накладываются необходимые текстуры из библиотеки текстур: горная местность, леса, поля, вода.

**Моделирование поведения АНПА.** Одним из перспективных методов имитационного моделирования для поведения группы АНПА представляется имитационное моделирование на основе мультиагентного подхода. В отличие от системной динамики и дискретно-событийных моделей агентные модели децентрализованы, поведение системы в целом не определяется, а поведение агентов определяется на индивидуальном уровне. Динамика системы возникает как результат деятельности многих агентов [22]. Таким образом, модель АНПА является интеллектуальным агентом.

Модель автономного необитаемого подводного аппарата отражает те свойства объекта исследования, которые рассматриваются как существенные для исследования и должна включать:

- ◆ местоположение в трехмерном пространстве;
- ◆ текущий вектор скорости;
- ◆ алгоритмы выполнения миссий;
- ◆ модель передачи данных по гетерогенным каналам связи;
- ◆ модель датчиков для обнаружения неподвижных и движущихся подводных объектов;
- ◆ модель движения.

Из этого следует необходимость реализации иерархической имитационной модели.

Вторым необходимым компонентом мультиагентной системы моделирования является среда. В качестве модели среды выступает векторное трехмерное поле, определяющее подводные течения и другие состояния среды (рис. 2). 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 АНПА по подобным законам в подводной среде могут двигаться другие объекты, обнаружения 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. Сам процесс обнаружения таких объектов представляет собой сложную задачу выявления слабых периодических сигналов на фоне сильного шума. Причем частота выявляемых сигналов заранее неизвестна и зависит от скорости движения объекта, угловой скорости винта и ряда других факторов. Решению этих задач посвящены отдельные наши исследования и публикации [24, 25]. В данной работе мы считаем, что попадая в зону обнаружения любого АНПА, данные объекты отмечаются как обнаруженные.

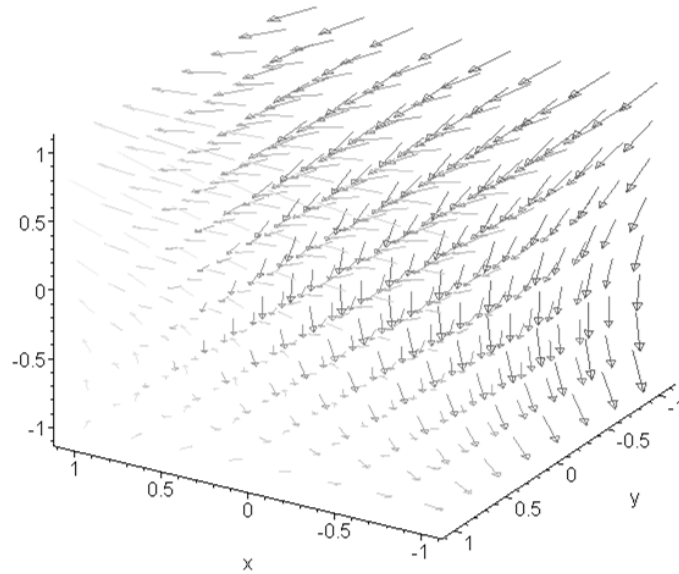


Рис. 2. Векторное трехмерное поле

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.

**Программный комплекс.** При создании комплекса программ применялись методы объектно-ориентированного программирования, что позволило обеспечить гибкую структуру с взаимозаменяемыми компонентами.

Основу комплекса составляют три класса объектов: модель АНПА, модель среды и графический интерфейс. Данные, передаваемые между объектами классов, схематично представлены на рис. 3.

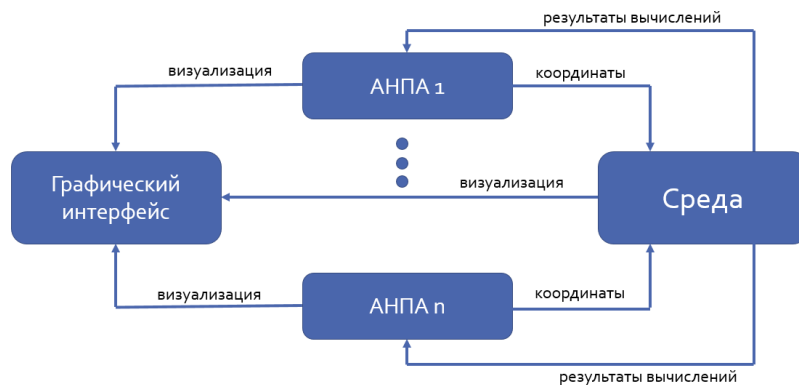


Рис. 3. Схема передачи данными между объектами классов

При движении в среде АНПА передает свои координаты среде, которая на основе положения аппарата рассчитывает влияние внешних факторов на его движение и возвращает данные, необходимые для дальнейшей визуализации. Визуализация среды и движения АНПА осуществляется с помощью графического интерфейса.

Трехмерная модель подводного аппарата (рис. 4) создана с помощью инструмента для 3D моделирования "Blender". За основу был взят Шведский аппарат фирмы "Sutec". При создании использовались различные ресурсы Blender'a: модификаторы, повышающие детализацию самого объекта (Subdivision Surface, Smooth), средства UV-текстурирования и редактор графов для анимации движения винтов. В итоге была воссоздана высокополигональная анимированная трехмерная модель аппарата с заданными параметрами материалов, которую можно использовать при моделировании сцены с различными процессами.

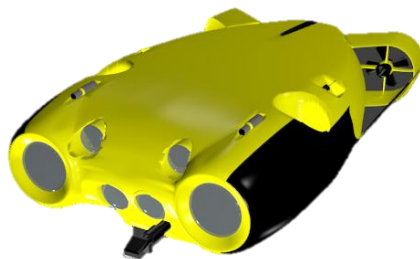


Рис. 4. Трехмерная модель подводного аппарата

Для построения трехмерной модели акватории был использован игровой движок "Unity 3D", поддерживающий возможность создания скриптов на языке C# и импорт моделей из "Blender". В Unity присутствуют различные возможности для создания ландшафта, такие как создание модели вручную и при помощи карт высот. В данном примере использовалось ручное создание небольшого участка акватории, ограниченного скалами и различными природными объектами (рис. 5).

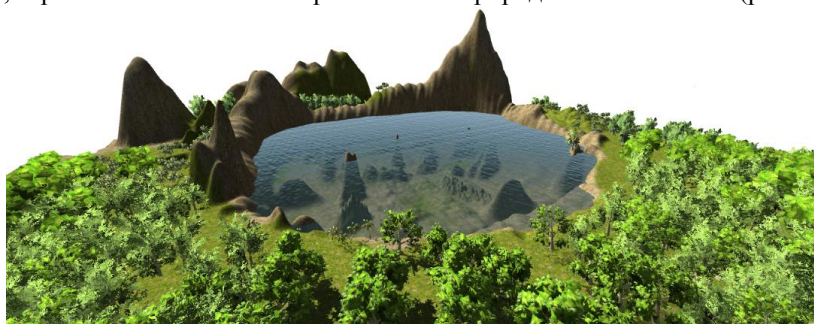


Рис. 5. Трехмерная модель акватории

Для достижения большей реалистичности изображения на модель ландшафта были наложены текстуры камня и травы из стандартной библиотеки Unity, а так же добавлены различные 3D объекты, такие как деревья, кусты и т.д. Кроме того были использованы шейдеры для создания подводной обстановки.

Поведение группы АНПА в подводной среде создается, на основе мультиагентного подхода. В данном случае автономное поведение для каждого объекта задается при помощи собственного скрипта - кода, написанного на языке C#, который описывает траекторию движения аппарата, в случае автономной работы, либо позволяет пользователю управлять одним из аппаратов, если требуется ручное управление (рис. 6).

При выборе ручного режима предусмотрена возможность управления видом с камеры от третьего лица, для которой включен параметр "дальность видимости" реализованный при помощи шейдера GlobalFog.

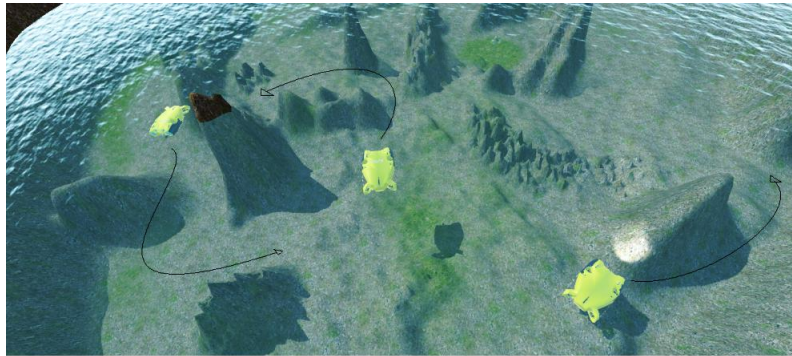


Рис. 6. Траектория движения подводных аппаратов

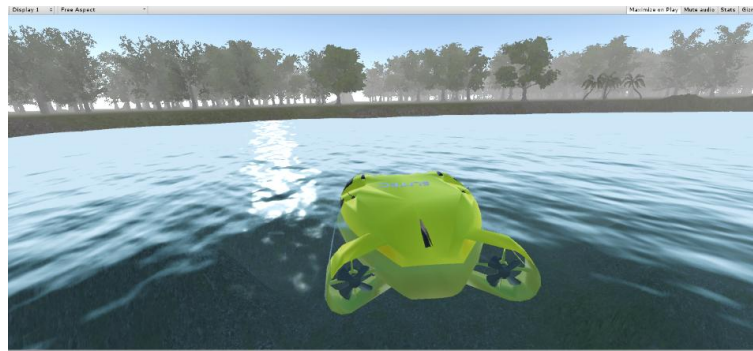


Рис. 7. Ручное управление подводным аппаратом

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.

Реализации задания по обнаружению различных объектов, плавающих в акватории возможна с помощью создания зоны видимости для каждого подводного аппарата, при попадании в которую объект считается замеченным (рис. 8). При достаточном количестве аппаратов возможно полное покрытие определенной части акватории, а следовательно и контроль абсолютно всех проходящих через неё объектов.

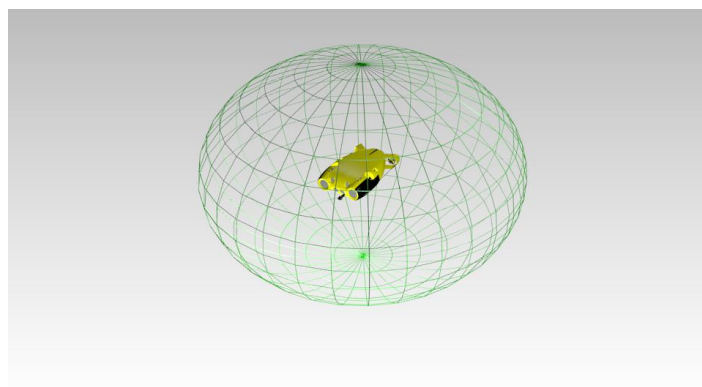


Рис. 8. Зона видимости подводного аппарата

**Заключение.** Исследован и программно реализован способ построения 3D-модели рельефа дна акватории на основе карты высот. Реализована мультиагентная модель движения группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) и конкурирующих подводных объектов в сложной окружающей среде, описанной как трехмерное векторное поле подводных течений. 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. Результаты и процесс моделирования визуализирован в 3D-модели подводного пространства на основе технологии Unity. Для визуализации отдельного АНПА была создана высокополигональная анимированная трехмерная модель подводного аппарата с заданными параметрами материалов с помощью инструмента для 3D-моделирования Blender.

Разработанная система визуализации движения группы АНПА позволяет наглядно обрабатывать различные стратегии достижения ими поставленных целей в близких к реальным подводным условиям. Это может быть использовано для обучения руководящего и обслуживающего персонала, для предварительных исследований новых конструкций АНПА, для «проигрывания» различных ситуаций перед предстоящими аварийно-спасательными работами, для решения оборонных задач.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. / Под общ. ред. акад. М.Д. Агеева. – М.: Наука, 2005. – 398 с.
2. *Киселёв Л.В.* Код глубины. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 332 с.
3. *Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., Коротаев Г.К., Ястребов В.С., Мотыжев С.В.* Океанология. Средства и методы океанологических исследований. – М.: Наука, 2005. – 795 с.
4. Underwater vehicles / Edited by Aleksander V. Inzartsev. – Austria, 2009. – 582 p.
5. *Матвиенко Ю.В., Костенко В.В., Борейко А.А.* Разработка подводного роботизированного комплекса «Галтель» // Материалы 6-й научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПОМО-6) Владивосток 28 сентября – 2 октября 2015 г. – С. 4-7.
6. *Минаев Д.Д.* Комплекс программно-аппаратных средств для ведения морских инженерных изысканий при проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов подводной инфраструктуры // Материалы 6-й научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПОМО-6) Владивосток 28 сентября – 2 октября 2015. – С. 32-36.
7. Техническое зрение в системах управления мобильными объектами // Труды научно-технической конференции-семинара. Вып. № 4 / Под ред. Р.Р. Назирова. – М.: КДУ, 2011. – 328 с.
8. *Брага Ю.А., Зайцев С.А., Кравец М. В., Машошин А.И.* Решение задачи классификации обнаруженных объектов при акустическом мониторинге водных районов // Известия ТРТУ. – 2004. – № 5 (40). – С. 104-109.
9. *Бердышев В.И., Костоусов В.Б.* Задачи планирования маршрута движущегося объекта в условиях наблюдения // Материалы 6-й научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПОМО-6). – Владивосток. 28 сентября – 2 октября 2015. – С. 391-395.
10. *Киселев Л.В., Юдаков А.А.* Динамика подводного робота при траекторном обследовании объектов // Подводные роботы и их системы. – 1992.– Вып. № 5. – С. 28-50.
11. *Куценко А.С., Егоров С.А., Черненко К.В., Крючков Р.С., Иноземцев В.В.* Построение и отработка системы управления комплекса из двух подводных аппаратов // Материалы 6-й научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПОМО-6). – Владивосток. – 28 сентября – 2 октября 2015 г. – С. 411-412.



12. *Huang H.M., Hira R., and Quintero R.* A Submarine Maneuvering System Demonstration based on the NIST Real-Time Control System Reference Model // Proceedings of the 8<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control, Chicago, IL. – 1993, DOI: 10.1109/ISIC.1993.397684.
13. *Albus J.S., McCain H.G., and Lumia R.* NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture (NASREM) // NIST technical note 1235, 1989 edition.
14. *Albus J.S., and Proctor F.G.* A Reference Model Architecture for Intelligent Hybrid Control Systems // Proceedings of the Int. Federation of Automatic Control, CA, June 30–July 5, 1996.
15. *Скобелев М.М.* Разработка в MATLAB-Simulink модели визуализации в виртуальной реальности управляемого пространственного движения подводного аппарата // Наука и образование. – 2011. – Вып. № 10. – С. 1-15.
16. *Котов К.Ю.* Математические модели взаимодействия агентов в коллективах // Материалы VIII школы молодых ученых Математическое моделирование и информационные технологии. – Иркутск, 2006. – С. 82-86.
17. *Smith T.R., Mann H.H., and Leonard N.E.* Orientation control of multiple underwater vehicles // In Proc. 40<sup>th</sup> IEEE Conf. Decision and Control. – 2001. – P. 4598-4603.
18. *Balch T., Arkiri R.C.* Behavior-based formation control for multirobot teams // Robotics and Automation, IEEE Transactions on. – 1998. – Vol. 14, No. 6. – P. 926-939.
19. *Карпов Ю.Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2006. – 400 с.
20. Федоренко Р.В., Гуренко Б. В. Комплекс моделирования движений подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 3 (116). – С. 180-186.
21. *Ланинов В.С.* Технологии виртуальной реальности для боя в городе с применением наземных мобильных робототехнических комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 63-69.
22. *Улыбин А.В., Арзамасцев А.А.* Мультиагентный подход в имитационном моделировании // Вестник ТГУ. – 2010. – Т. 15. – Вып. № 5. – С. 1470-1471.
23. *Alexandre Santos Lobao.* Beginning XNA 2.0 Game Programming: From Novice to Professional. – New York: Apress, 2007. – 456 p.
24. *Khamukhin A.A., Perminov R.I., Yagunov T.A.* Numerical simulation of hydroacoustic noise signals detecting by a two stages wavelet transform // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) : proceedings of the International Conference, Tomsk, 16-18 October, 2014 / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU); Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). – 2014. – 4 p.
25. *Хамухин А.А.* Устройство обнаружения узкополосных шумовых гидроакустических сигналов на основе непрерывного вейвлет-преобразования / Патент РФ на изобретение № 2510037, Патентообладатель: Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), заявка. № 2012141615/28; заявл. 28.09.12; опубли. 20.03.14, бюл. № 8. – 9 с.

## REFERENCES

1. Avtonomnye podvodnye roboty. Sistemy i tehnologii. [Autonomous underwater robots. Systems and technologies], Pod obsh. red. akad. M.D. Ageeva [Under the general editorship of academician M.D. Ageev]: Moscow: Nauka, 2005, 398 p.
2. *Kiselev L.V.* Kod glubiny [Depth code], Valdivistok: Dalnauka, 2011, 332 p.
3. *Smirnov G.V., Ermeev V.N., Ageev M.D., Korotaev G.K., Yastrebov V.S., Motyzhev S.V.* Okeanologiya. Sredstva i metody okeanologicheskikh issledovaniy [Oceanology. Means and methods of oceanographic research]. Moscow: Nauka, 2005, 795 p.
4. Underwater vehicles, Ed. by Aleksander V. Inzartsev. Austria, 2009. 582 p.
5. *Matvienko Y.V., Kostenko V.V., Boreiki A.A.* Razrabotka podvodnogo robotizirovannogo kompleksa «Galtel» [Development of underwater robotic complex «Galtel»], *Materialy 6-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnicheskie problemy osvoeniya Mirovogo okeana» (TPOMO-6) Vladivostok. 28 sentyabrya – 2 oktyabrya 2015 g.* [Proceedings of the 6th Scientific and Technical Conference "Technical problems of the World Ocean" Vladivostok. September 28 – October 2, 2015], pp. 4-7.

6. Minaev D.D. Kompleks programmno-apparatnykh sredstv dlya vedeniya morskikh inzhenernykh izyskaniy pri proektirovaniy, stroitelstve i ekspluatatsii razlichnykh ob'ektov podvodnykh infrastruktur. [The complex of software and hardware for conducting marine engineering surveys for the design, construction and operation of various objects underwater infrastructures], *Materialy 6-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnicheskie problemy osvoeniya Mirovogo okeana» (TPOMO-6) Vladivostok 28 sentyabrya – 2 oktyabrya 2015* [Proceedings of the 6th Scientific and Technical Conference "Technical problems of the World Ocean". Vladivostok. September 28 – October 2, 2015], pp. 32-36.
7. Tehnicheskoe zrenie v sistemakh upravleniya mobilnymi ob'ektami. [Vision Systems in mobile objects control systems], *Trudy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-seminara* [Proceedings of the scientific and technical conference-seminar]. Vol. 4, ed. RR Nazirov. Moscow: SAM, 2011, 328 p.
8. Braga Y.A., Zaycev S.A., Kravec M.V., Mshoshin A.I. Reshenie zadachi klassifikatsii obnaruzhennykh ob'ektov pri akusticheskom monitoring vodnykh rayonov [Solution of the problem of classification of objects detected by the acoustic monitoring of water areas], *Izvestiya TRTU [Izvestiya TSUR]*, 2004, No. 5 (40), pp. 104-109.
9. Berdyshev V.I., Kostousov V.B. Zadachi planirovaniya marshruta dvizhushegosya ob'ekta v usloviyakh nabludeniya [Planning Tasks path of a moving object under observation], *Materialy 6-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnicheskie problemy osvoeniya Mirovogo okeana» (TPOMO-6). Vladivostok. 28 sentyabrya – 2 oktyabrya 2015* [Proceedings of the 6th Scientific and Technical Conference "Technical problems of the World Ocean". Vladivostok. September 28 – October 2, 2015], pp. 391-395.
10. Kiselev L.V., Yudakov A.A. Dinamika podvodnogo robota pri traektornom obsledovanii ob'ektov. [The dynamics of an underwater robot with a trajectory examination facilities], *Podvodnye roboty i ikh sistemy* [Underwater Robots and Systems]. Issue 5. Vladivostok, 1992, pp. 28-50.
11. Kucenko A.S., Egorov S.A., Chernenko K.V., Kruchkov R.S., Inozemcev V.V. Postroenie i otrabotka sistemu upravleniya kompleksa iz dvukh podvodnykh apparatov [Construction and testing of complex control systems of the two underwater vehicles], *Materialy 6-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnicheskie problemy osvoeniya Mirovogo okeana» (TPOMO-6). – Vladivostok. – 28 sentyabrya – 2 oktyabrya 2015 g.* [Proceedings of the 6th Scientific and Technical Conference "Technical problems of the World Ocean". Vladivostok. September 28 – October 2, 2015], pp. 411- 512.
12. Huang H.M., Hira R., and R. Quintero R. A Submarine Maneuvering System Demonstration based on the NIST Real-Time Control System Reference Model, *Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Intelligent Control, Chicago, IL. 1993*, DOI: 10.1109/ISIC.1993.397684.
13. Albus J.S., McCain H.G, and Lumia R. NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture (NASREM), *NIST technical note 1235, 1989 edition*.
14. Albus J.S., and Proctor F.G. A Reference Model Architecture for Intelligent Hybrid Control Systems, *Proceedings of the Int. Federation of Automatic Control, CA, June 30–July 5, 1996*.
15. Skobelev M.M. Razrabotka v MALAB-Simulink modeli vizualizatsii v virtualnoy real'nosti upravlyаемого prostranstvennogo dvizheniya podvodnogo apparata [Development by MATLAB-Simulink model of visualization in virtual reality of controlled spatial motion of underwater vehicle], *Nauka i obrazovanie* [Science and education], 2011, Issue No. 10, pp. 1-15.
16. Kotov K.Y. Matematicheskie modeli vzaimodeystviya agentov v kollektivakh. [Mathematical models of the interaction of agents in groups], *Materialy VIII shkoly seminara molodykh uchenykh Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii* [Materials of the VIII School of young scientists "Mathematical modeling and information technology." Irkutsk, 2006, pp. 82-86.
17. Smith T.R., Mann H.H., Leonard N.E. Orientation control of multiple underwater vehicles, In *Proc. 40th IEEE Conf. Decision and Control*, 2001, pp. 4598-4603.
18. Balch T., Arkiri R.C. Behavior-based formation control for multirobot teams, *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 1998, Vol. 14, No. 6, pp. 926-939.
19. Imitatsionnoe modelirovanie system. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5. [Simulation systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2006, 400 p.

20. Fedorenko R.V., Gurenko B.V. Kompleks modelirovaniya dvizhenii podvizhnykh ob'ectov na baze vozduhoplavitelnykh i podvodnykh apparatov. [Complex modeling of movement of moving objects on the basis of aeronautical and submersibles], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 3 (116), pp. 180-186.
21. Lapshov V.S. Tehnologii virtualnoy real'nosti dlya boya v gorode s primeneniem nazemnykh mobilnykh robotehnicheskikh kompleksov [Virtual Reality Technologies for combat in the city with the use of ground-based mobile robot], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 3 (140), pp. 63-69.
22. Ulybin A.V., Arzamashev A.A. Multiagentnyi podhod v imitacionnom modelirovanii. [Multiagent approach to simulation modeling], *Vestnik TSU [Vestnik TSU]*, 2010, Vol. 15, No. 5, pp. 1470-1471.
23. Alexandre Santos Lobao. Beginning XNA 2.0 Game Programming: From Novice to Professional. New York: Apress, 2007. 456 p.
24. Khamukhin A.A., Perminov R.I., Yagunov T.A. Numerical simulation of hydroacoustic noise signals detecting by a two stages wavelet transform, *Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) : proceedings of the International Conference, Tomsk, 16-18 October, 2014 / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU)*; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2014, 4 p.
25. Khamukhin A.A. Ustroystvo obnaruzheniya uzkoplostnykh shumovykh gidroakusticheskikh signalov na osnove nepreryvnogo veivlet-preobrazovaniya. [Detection device of narrowband noise sonar signals based on continuous wavelet transform], Russian Federation patent number 2510037, Patent holder is National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), application № 2012141615/28; appl. 09/28/12; publ. 03.20.14, Bul. No. 8, 9 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.З. Ямпольский.

**Демин Антон Юрьевич** – Томский политехнический университет; e-mail: ad@tpu.ru; 634049, Томск, ул. Советская, 84/3, Институт кибернетики ТПУ, оф. 414; тел.: 83822426334; кафедра информатики и проектирования систем; к.т.н.; доцент.

**Сорокин Василий Александрович** – e-mail: vas1@tpu.ru; 634049, Томск, ул. Советская, 84/3, Институт кибернетики ТПУ, оф. 412; тел.: 8382242 6334; кафедра информатики и проектирования систем; магистрант.

**Анферов Илья Андреевич** – e-mail: ad@tpu.ru; 634049, Томск, ул. Советская, 84/3, Институт кибернетики ТПУ, оф. 412; тел.: 83822426334; кафедра информатики и проектирования систем; студент.

**Хамухин Александр Анатольевич** – e-mail: aaxtpu@tpu.ru; 634049, Томск, ул. Советская, 84/3, Институт кибернетики ТПУ, оф. 406; тел.: +73822426334; кафедра информатики и проектирования систем; к.т.н.; доцент.

**Demin Anton Yurevich** – Tomsk Polytechnic University; e-mail: ad@tpu.ru; 634049, Tomsk, Sovetskaya st., 84/3, TPU Institute of Cybernetics of. 414; phone +73822426334; the department of informatics and systems design; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Sorokin Vasilii Aleksandrovich** – e-mail: vas1@tpu.ru; 634049, Tomsk, Sovetskaya st., 84/3, TPU Institute of Cybernetics of. 412; phone: +73822426334; the department of informatics and systems design; master student.

**Anfreov Ilya Andreevich** – e-mail: darkarhara@gmail.com; 634049, Tomsk, Sovetskaya st., 84/3, TPU Institute of Cybernetics of. 412; phone: +73822426334; the department of informatics and systems design; student.

**Khamukhin Alexander Anatolevich** – e-mail: aax tpu@tpu.ru; 634049, Tomsk, Sovetskaya st., 84/3, TPU Institute of Cybernetics of. 406; phone: +73822426334; the department of informatics and systems design; cand. of eng. sc.; associate professor.