

УДК 626

**Л.А. Мартынова, А.И. Машошин****ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫХ  
НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ  
НА БАЗЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*Эффективность применения АНПА во многом зависит от возможностей его системы управления (СУ), создание которой представляет собой весьма нетривиальную задачу, поскольку она, кроме обеспечения выполнения поставленной задачи, должна принимать решение в различных трудно предсказуемых нештатных ситуациях. Кроме того, при принятии решения приходится учитывать большое количество ограничений, обусловленных автономностью аппарата, средой обитания, ограниченными ресурсами. Целью работы является обоснование целесообразности построения ИСУ АНПА на базе мультиагентной технологии, а также описание структуры и функционирования ИСУ АНПА как мультиагентной системы. Возрастающие сложности решаемых задач определяют необходимость использования современных подходов к проектированию СУ АНПА, наиболее ярких и перспективных из которых является мультиагентный подход. Реализация мультиагентного подхода в СУ АНПА заключается в представлении в виде агентов подсистем СУ АНПА, основными характерными чертами которых являются: каждая подсистема ИСУ АНПА должна содержать агента, осуществляющего управление данной подсистемой; для выполнения функций по управлению агент каждой подсистемы должен иметь возможность обмениваться информацией с агентами других подсистем, а также с техническими средствами своей подсистемы; для сокращения сложности создания агента конкретной подсистемы он может быть декомпозирован в несколько агентов с более простыми функциями. В качестве примера приведено описание функционирования ИСУ как мультиагентной системы при выполнении миссии, заключающейся в перемещении АНПА из одной точки в другую. Показано взаимодействие агентов между собой, их общение и принятие решения относительно действий подсистем АНПА. Тем самым показано сложное взаимодействие агентов подсистем АНПА. На самом деле оно еще значительно сложнее, поскольку приве-*

денное краткое описание не учитывает взаимодействия агентов внутри подсистем, в том числе в условиях возникновения нештатных ситуаций, обусловленных как внешними (непредвиденные препятствия), так и внутренними (неисправности аппаратной части, сбои программного обеспечения, исчерпание запаса электроэнергии) причинами.

*АНПА; мультиагентность; система управления; движение.*

**L.A. Martynova, A.I. Mashoshin**

### **FORMATION OF AUV CONTROL SYSTEM BASED ON MULTI-AGENT TECHNOLOGY**

*The efficiency of the AUV strongly depends on the capabilities of its control system (CS), the creation of which is a very nontrivial problem, because it, besides the ensuring the task, should make a decision in a variety of poorly predicted abnormal situations. In addition, when making a decision one must take into account a large number of constraints imposed by the autonomous vehicle, habitat, limited resources. The aim of the work is to prove the practicability to construct the integrated CS (ICS) using on multi-agent technology, as well as the description of the structure and functioning of the AUV ICS as a multi-agent system. The increasing complexity of tasks necessitate the use of modern approaches to the design of the AUV ICS, the brightest and most promising of which is the multi-agent approach. The implementation of multi-agent approach to AUV ICS is to present ICS subsystems as agents with the follows features: each subsystem must contain the agent that controls this subsystem; to perform the functions of management every agent must be able to exchange information with other agents, as well as with technical means of its subsystems; to reduce the complexity of agents each agent can be decomposed into several agents with more simple functions. As an example, the work contains a description of the ICS functioning as the multi-agent system when managing the movement of AUV between two points. The complicated interaction between the agents, their communication and decision-making are shown. In fact, it is much more complicated, because this brief description does not take into account the interaction between agents within the subsystems, including the conditions of emergency situations caused by both external (unforeseen obstacles) and internal (hardware failure, software failure, exhaustion of stock electricity) causes.*

*AUV; multi-agent; control system; movement.*

**Введение.** Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) являются одними из наиболее перспективных средств изучения и освоения Мирового океана [1–9].

Уже сейчас АНПА применяются:

- ◆ для обследования дна перед началом подводных работ;
- ◆ для прокладки подводных кабелей, в первую очередь, подо льдом;
- ◆ для обследования подводных сооружений, добывающих платформ и трубопроводов;
- ◆ для проведения широкомасштабных подводных научных исследований в различных областях (гидрофизика, морская биология, химия, геология, климатология, подводная археология);
- ◆ для поиска затонувших кораблей и самолётов;
- ◆ для поиска мин;
- ◆ как средство ведения подводной войны.

В дальнейшем область применения АНПА будет только расширяться.

Поскольку АНПА является подводным роботом, эффективность его применения во многом зависит от возможностей его системы управления (СУ), создание которой представляет собой весьма нетривиальную задачу, поскольку она, кроме обеспечения выполнения поставленной задачи, должна принимать решение в различных трудно предсказуемых нештатных ситуациях.

Кроме того, при создании СУ АНПА к проблемам, которые нужно решить при создании СУ наземных и воздушных автономных технических средств, добавляется ряд специфических проблем, которые значительно усложняют задачу. Этими специфическими проблемами являются:

- ♦ ограниченные возможности оперативного обмена данными и командами АНПА с командным пунктом и взаимодействующими объектами, как по дальности (единицы – первые десятки километров), так и по скорости передачи данных (до 1 кб/с);
- ♦ ограниченными возможностями АНПА по точности автономной подводной навигации.

Созданию СУ АНПА посвящено большое число работ как у нас в стране, так и за рубежом (например, [10–17]).

В работах [18–20] показано, что СУ АНПА целесообразно создавать в виде интегрированной системы управления (ИСУ), представляющей собой аппаратно-программный комплекс, интегрирующий все радиоэлектронные средства (РЭС), так или иначе участвующие в управлении АНПА.

Положительный эффект интеграции объединения обусловлен следующими факторами:

- ♦ возможностью обеспечения высокой эффективности управления за счет сквозной оптимизации алгоритмов функционирования всех элементов ИСУ;
- ♦ сокращением габаритов и энергопотребления РЭС за счет использования единого вычислительного модуля и единой системы первичного и вторичного электропитания;
- ♦ сокращением трудоемкости (и соответственно цены) создания РЭС АНПА за счет аппаратно-программной унификации;
- ♦ возможностью создания СУ, унифицированной для различных типов АНПА.

Последнее достоинство следует подчеркнуть особо. Поскольку разработка СУ для АНПА любого назначения является наиболее трудоёмкой частью создания АНПА, вполне естественным является желание разработать унифицированную СУ, которую можно было бы устанавливать на аппараты, решающие разные задачи. И это вполне возможно, поскольку задачи, выполняемые АНПА различного назначения, состоят в основном из идентичных этапов (рис. 1). Уникальные задачи, соответствующие конкретному назначению АНПА, целесообразно реализовывать в такой унифицированной СУ в форме опций.

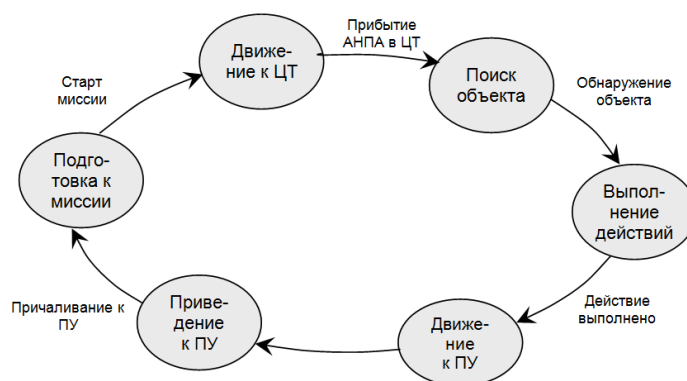


Рис. 1. Последовательность этапов выполнения миссии (ЦТ – целевая точка; ПУ – причальное устройство)

Дальнейшее изложение будем вести применительно к ИСУ АНПА. Состав унифицированной ИСУ АНПА приведен на рис. 2.

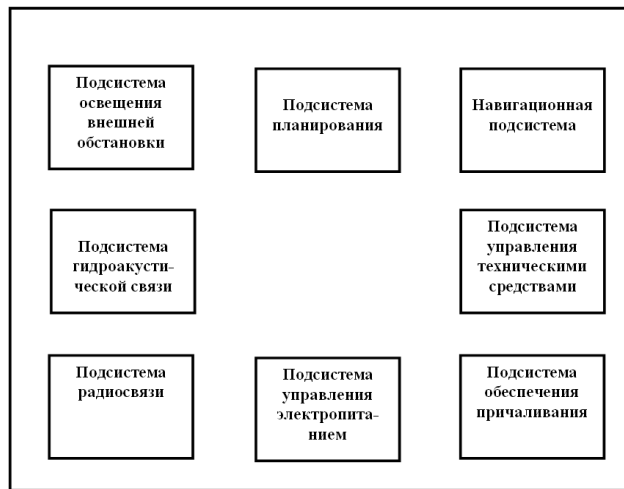


Рис. 2. Состав унифицированной ИСУ АНПА

К ИСУ АНПА предъявляется требование обеспечить выполнение задания на миссию с учетом:

- ◆ физических ограничений по скорости хода, глубине погружения, дальности действия гидроакустических средств;
- ◆ имеющегося запаса электроэнергии;
- ◆ состояния технических средств АНПА;
- ◆ оборудования района маяками ответчиками;
- ◆ гидрометеорологических условий в районе плавания;
- ◆ непреднамеренного и преднамеренного противодействия со стороны сторонних объектов;
- ◆ возникновения нештатных ситуаций любой природы.

Целью работы является обоснование целесообразности построения ИСУ АНПА на базе мультиагентной технологии, а также описание структуры и функционирования ИСУ АНПА как мультиагентной системы.

**1. Обоснование архитектуры ИСУ АНПА.** АНПА является сложной технической системой, поскольку обладает всеми признаками сложных систем:

- ◆ сложной структурой;
- ◆ многосвязностью составных частей;
- ◆ автономностью функционирования;
- ◆ нелинейностью функционирования.

Архитектура систем управления сложными техническими системами прошла эволюцию от мультиобъектной к мультиагентной архитектуре [21–23]. Первая из них характеризуется наличием централизованной системы управления (ЦСУ) и множества объектов, выполняющих команды ЦСУ. Причем объекты обмениваются информацией, как правило, только с ЦСУ.

Мультиагентная архитектура отличается отсутствием ЦСУ и появлением вместо объектов-исполнителей интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом при решении поставленной задачи.

Основная причина перехода от мультиобъектного к мультиагентному построению СУ сложными системами заключается в принципиальной трудности создания эффективной ЦСУ. Причем с ростом сложности системы эта трудность возрастает по степенному закону.

При создании СУ сложным роботом, которым является АНПА, проблема трудности создания ЦСУ еще более возрастает, поскольку все требования к эффективности работы ЦСУ (в том числе в трудно предсказуемых нештатных ситуациях) должны быть реализованы в автоматическом режиме, т.е. без участия человека-оператора, способного своим интеллектом компенсировать недоработки СУ.

Эти рассуждения приводят к естественному выводу о целесообразности построения СУ АНПА на базе мультиагентной архитектуры с использованием мультиагентных технологий.

Системы управления, имеющие мультиагентную архитектуру, называются мультиагентными системами (МАС) [22].

Агент в МАС – это автономный программный объект, способный управлять достижением поставленных целей в условиях неопределенности путем выработки и анализа вариантов принятия решений и согласованного взаимодействия с другими агентами.

Ключевые свойства агентов:

- ◆ автономность, т.е. способность действовать самостоятельно, контролируя свои действия и внутреннее состояние;
- ◆ активность, т.е. стремление достичь поставленных целей;
- ◆ реактивность, т.е. адаптивное поведение как реакция на внешние воздействия;
- ◆ социальное поведение, т.е. взаимодействие с другими агентами для достижения согласованных решений.
- ◆ Применение данной понятийной базы к ИСУ АНПА, состав которой изображен на рис. 2, приводит к следующим выводам:
- ◆ каждая подсистема ИСУ АНПА должна содержать агента, осуществляющего управление данной подсистемой;
- ◆ для выполнения функций по управлению агент каждой подсистемы должен иметь возможность обмениваться информацией с агентами других подсистем, а также с техническими средствами своей подсистемы;
- ◆ для сокращения сложности создания агента конкретной подсистемы он может быть декомпозирован в несколько агентов с более простыми функциями.

На рис. 3 приведена структура ИСУ АНПА с мультиагентной архитектурой. Из рассмотрения рисунка следует, что в каждую подсистему встроены управляющие агенты, и агенты всех подсистем могут общаться друг другом посредством телекоммуникационной сети. Из общей схемы выпала подсистема планирования, которая, в отличие от других подсистем не имеет своих технических средств. Она преобразовалась в агента планирования, функциями которого является получение по каналам внешней связи задания на миссию, доведение задания до агентов всех подсистем, оперативный контроль выполнения заданий.

Как было сказано выше, агент любой подсистемы может быть декомпозирован в несколько агентов с более простыми функциями. На рис. 4 изображена декомпозиция агента подсистемы освещения внешней обстановки в 4 агента. Данная подсистема имеет 2 режима работы – активный и пассивный со своими техническими средствами. Эффективность использования каждого из этих режимов существенно зависит от оптимизации параметров их функционирования, что достигается адаптацией параметров излучаемых сигналов и алгоритмов обработки принимаемых сигналов к текущим гидроакустическим и помехосигнальным условиям. Ввиду этого агент подсистемы освещения внешней обстановки декомпозирован в 4 агента:

1-й агент осуществляет общение с агентами других подсистем, формируя на базе этого общения цели и текущий план функционирования своей подсистемы;

2-й агент с учетом плана и текущих гидроакустических и помехосигнальных условий осуществляет адаптивную оптимизацию работы активного и пассивного режимов;

3-й и 4-й агенты управляют работой соответственно активного и пассивного режимов.

Данная декомпозиция может быть продолжена и далее с учетом сложности решаемых задач.

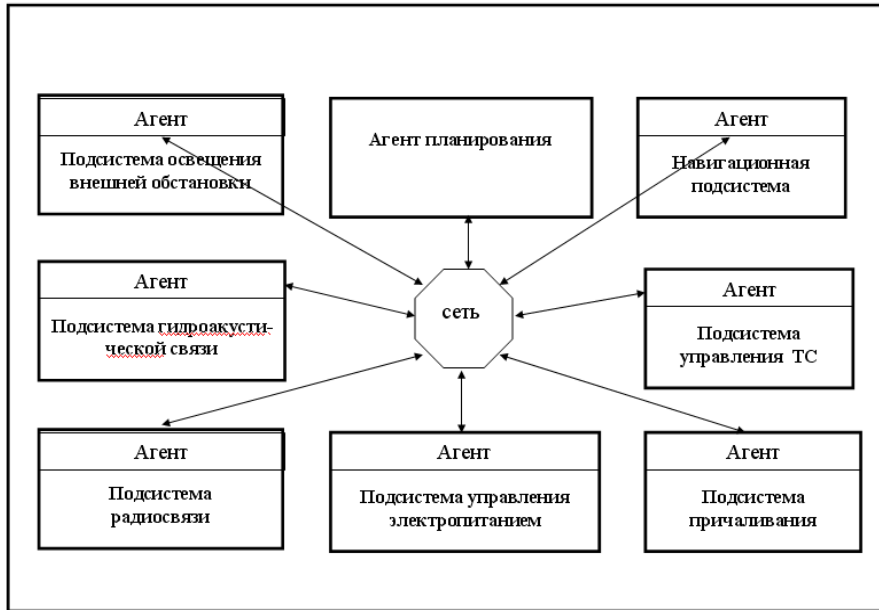


Рис. 3. Мультиагентная архитектура ИСУ АНПА

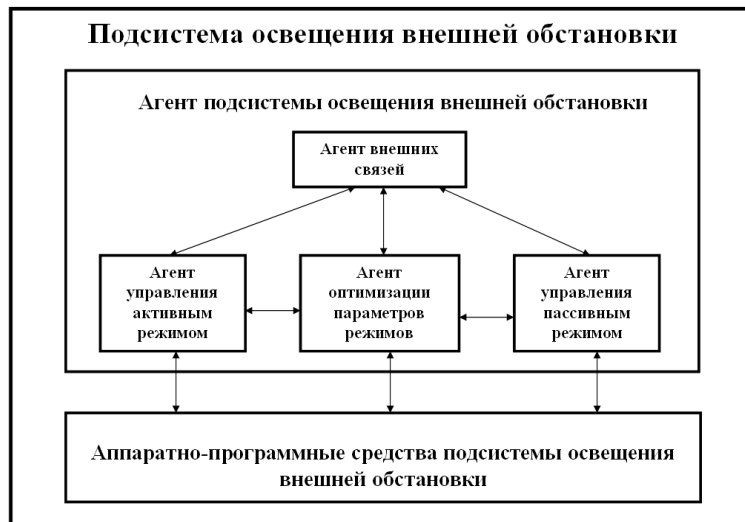


Рис. 4. Декомпозиция агента подсистемы освещения внешней обстановки в 4 агента



АНПА на поверхность сопряжено с аномальным расходом того и другого), а также благоприятные погодные условия. При выборе обсервации по маякам-ответчикам АНПА посылает соответствующий запрос агенту подсистемы гидроакустической связи (АПГС), сопровождая его координатами и параметрами маяков, с которыми можно связаться. АПГС, получив запрос, рассчитывает энергетический ресурс для его выполнения и посылает запрос на этот ресурс в АПУЭП. АПУЭП выделяет этот ресурс либо сообщает АПГС о невозможности выделить запрошенный ресурс и величину ресурса, который может быть выделен. Если ресурс выделен, АПГС выдает соответствующие команды своим техническим средствам, а после получения от них обсервованных координат АНПА сообщает их АНПА. В противном случае АПГС оценивает возможность обсервации при меньшем ресурсе и по результатам оценки дает команду на обсервацию либо сообщает о невозможности обсервации АНПА. В последнем случае АНПА, при допустимости обсервации по СНС, посылает запрос на возможность такой обсервации агенту подсистемы радиосвязи (АПРС) и при получении положительного ответа рассчитывает ПД АНПА для всплытия в надводное положение. Рассчитанные ПД посылает АПУТС. Последний рассчитывает потребный ресурс электропитания для всплытия и выдает соответствующую заявку АПУЭП. И далее как в описанной выше ситуации при выборе ПД АНПА.

Если же не удалось выполнить обсервацию ни одним из способов, у АНПА должен быть резервный вариант обеспечения движения по заданному маршруту.

В процессе движения АНПА по маршруту агент подсистемы освещения внешней обстановки (АПОВО) управляет сканированием пространства вокруг АНПА в пассивном и активном режимах. При обнаружении неподвижного либо подвижного препятствия АПОВО определяет его координаты (пеленг, дистанцию и глубину) и ПД (курс, скорость, глубину), а также степень опасности препятствия для АНПА. Если препятствие признано опасным, АПОВО сообщает его координаты АНПА, который рассчитывает ПД АНПА на обход (расхождение) препятствия путем изменения курса и/или скорости, и/или глубины. Рассчитанные параметры манёвра АНПА сообщает АПУТС и далее по описанной выше схеме.

Для обхода сложного препятствия, как правило, одним маневром обойтись не удастся, ввиду чего описанное взаимодействие АПОВО, АНПА, АПУТС, АПУЭП повторяется многократно.

Как видим, даже на относительно несложном этапе миссии АНПА – движении в целевую точку – требуется весьма сложное взаимодействие агентов подсистем АНПА. На самом деле оно еще значительно сложнее, поскольку приведенное краткое описание не учитывает взаимодействия агентов внутри подсистем, в том числе в условиях возникновения нештатных ситуаций, обусловленных как внешними (непредвиденные препятствия), так и внутренними (неисправности аппаратной части, сбои программного обеспечения, исчерпание запаса электроэнергии) причинами.

**Заключение.** Поскольку АНПА является сложной многокомпонентной автономной системой, предназначенной для работы в сложных плохо предсказуемых условиях, ее систему управления целесообразно строить с использованием современных мультиагентных технологий.

В работе приведено описание структуры ИСУ АНПА как мультиагентной системы, и показано ее функционирование на уровне взаимодействия агентов подсистем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / под ред. Агеева М.Д. – М.: Наука, 2005. – 398 с.
2. *Инзарцев А.В.* и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – № 2 (4). – С. 5-14.



3. *Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.* Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 4-13.
4. *Боженков Ю.А.* Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 4-68.
5. *Millar G., Mackay L.* Maneuvering under the ice // *Sea technology.* – 2015. – Vol. 56, No. 4. – P. 35-38.
6. *Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Бочаров Л.Ю.* Угроза из глубины: XXI век. – Хабаровск: КГУП "Хабаровская краевая типография", 2011. – 304 с.
7. *Белоусов И.* Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // *Зарубежное военное обозрение.* – 2013. – № 5. – С. 79-88.
8. *Викторов Р.В., Илларионов Г.Ю., Квашнин А.Г.* Двойное применение автономных необитаемых подводных аппаратов типа "REMUS" // *Двойные технологии.* – 2010. – № 3.
9. *Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р.* Мобильные подводные роботы в решении задач ВМФ: Современные технологии и перспективы // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* – 2011. – Т. 4, № 3. – С. 37-48.
10. *Пишихов В.Х., Сиротенко М.Ю., Гуренко Б.В.* Структурная организация систем автоматического управления подводными аппаратами для априори неформализованных сред // *Информационно-измерительные и управляющие системы. Интеллектуальные и адаптивные роботы.* – М.: Изд-во «Радиотехника», 2006. – № 1-3. – Т. 4. – С.73-79.
11. *Пишихов В.Х.* Позиционно-траекторное управление подвижными объектами. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 183 с.
12. *Пишихов В.Х., Медведев М.Ю.* Структурный синтез автопилотов подвижных объектов с оценением возмущений // *Информационно-измерительные и управляющие системы.* – 2006. – № 1. – С. 103-109.
13. *Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А.* Устройства и системы управления подводных роботов. – М.: Наука, 2005. – 270 с.
14. *Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В.* О некоторых задачах динамики и управления пространственным движением АНПА // *Подводные исследования и робототехника.* – 2006. – № 2. – С. 13-26.
15. *Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Сидоренко А.В., Хмельков Д.Б.* Архитектурные конфигурации систем управления АНПА // *Подводные исследования и робототехника.* – 2006. – № 1. – С. 18-30.
16. *Ермолов И.Л.* Расширение функциональных возможностей мобильных технологических роботов путем повышения уровня их автономности с использованием иерархической комплексной обработки бортовых данных: дис. ... д-ра техн. наук, 2012. – 350 с.
17. *Пишихов В.Х., Медведев М.Ю.* Адаптивное позиционное управление подвижными объектами, не линеаризуемыми обратной связью // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2015. – Т. 16, № 8. – С. 523-530.
18. *Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Соколов А.И.* Система управления – наиболее сложная часть автономных необитаемых подводных аппаратов // *Морская радиоэлектроника.* – 2015. – № 4 (54). – С. 23-32.
19. *Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Соколов А.И.* Интегрированная система управления автономного необитаемого подводного аппарата // *Материалы 8-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления, Дивноморское, 28 сентября – 3 октября 2015г.* – Т. 3. – С. 191-193.
20. *Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Соколов А.И.* Алгоритмы, реализуемые интегрированной системой управления АНПА // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2015. – № 1 (162). – С. 50-58.
21. *Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В.* Многоагентные системы (обзор) // *Новости искусственного интеллекта.* – 1998. – № 2. – С. 64-116.
22. *Ржевский Г.А., Скобелев П.О.* Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. – Самара: Офорт, 2015. – 290 с.
23. *Innocenti B.* A multi-agent architecture with distributed coordination for an autonomous robot. Ph.D. dissertation – Universitat de Girona, 2009. – 146 p.

REFERENCES

1. Avtonomnye podvodnye roboty. Sistemy i tekhnologii [The autonomous underwater robots. Systems and technology], Ed. by Ageeva M.D. Moscow: Nauka, 2005, 398 p.
2. Inzartsev A.V. i dr. Primenenie avtonomnogo neobitaemogo podvodnogo apparata dlya nauchnykh issledovaniy v Arktike [The use of autonomous underwater vehicle for scientific research in the Arctic], *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika* [Underwater research and robotics], 2007, No. 2 (4), pp. 5-14.
3. Gizitdinova M.R., Kuz'mitskiy M.A. Mobil'nye podvodnye roboty v sovremennoy okeanografii i gidrofizike [Mobile underwater robots in modern oceanography and hydrophysics], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and Applied hydrophysics], 2010, Vol. 3, No. 1, pp. 4-13.
4. Bozhenov Yu.A. Ispol'zovanie avtonomnykh neobitaemykh podvodnykh apparatov dlya issledovaniya Arktiki i Antarktiki [The use of autonomous underwater vehicle for the study of the Arctic and Antarctic], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and Applied hydrophysics], 2011, Vol. 4, No. 1, pp. 4-68.
5. Millar G., Mackay L. Maneuvering under the ice, *Sea technology*, 2015, Vol. 56, No. 4, pp. 35-38.
6. Illarionov G.Yu., Sidenko K.S., Bocharov L.Yu. Ugroza iz glubiny: XXI vek [The threat from the depths: XXI vek]. Khabarovsk: KGUP "Khabarovskaya kraevaya tipografiya", 2011, 304 p.
7. Belousov I. Sovremennye i perspektivnye neobitaemye podvodnye apparaty VMS SSHA [Current and future unmanned submersibles US Navy], *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign Military Review], 2013, No. 5, pp. 79-88.
8. Viktorov R.V., Illarionov G.Yu., Kvashnin A.G. Dvoynoe primeneniye avtonomnykh neobitaemykh podvodnykh apparatov tipa "REMUS" [The double use of autonomous underwater vehicle type "REMUS"], *Dvoynye tekhnologii* [Dual Technology], 2010, No. 3.
9. Kuz'mitskiy M.A., Gizitdinova M.R. Mobil'nye podvodnye roboty v reshenii zadach VMF: Sovremennye tekhnologii i perspektivy [Mobile underwater robots in the solution of problems of the Navy: Modern technologies and perspectives], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and Applied hydrophysics], 2011, Vol. 4, No 3, pp. 37-48.
10. Pshikhopov V.Kh., Sirotenko M.Yu., Gurenko B.V. Strukturnaya organizatsiya sistem avtomaticheskogo upravleniya podvodnymi apparatami dlya apriori neformalizovannykh sred [Structural organization of automatic control systems for underwater vehicles priori formalized media], *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. Intellektual'nye i adaptivnye roboty* [Information-measuring and operating systems. Intelligent and adaptive robots]. Moscow: Izd-vo «Radiotekhnika», 2006, No. 1-3, Vol. 4, pp. 73-79.
11. Pshikhopov V.Kh. Pozitsionno-traektornoye upravleniye podvizhnymi ob'ektami [Position-control trajectory of moving objects]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2009, 183 p.
12. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Strukturnyy sintez avtopilotov podvizhnykh ob'ektov s otsenivaniem vozmushcheniy [Structural synthesis of autopilots moving objects with estimation of perturbation], *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy* [Information-measuring and operating systems], 2006, No. 1, pp. 103-109.
13. Filaretov V.F., Lebedev A.V., Yukhimets D.A. Ustroystva i sistemy upravleniya podvodnykh robotov [Devices and underwater robots control system]. Moscow: Nauka, 2005, 270 p.
14. Kiselev L.V., Inzartsev A.V., Matvienko Yu.V. O nekotorykh zadachakh dinamiki i upravleniya prostranstvennym dvizheniem ANPA [Some problems of dynamics and control spatial motion], *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika* [Underwater AUV research and robotics], 2006, No. 2, pp. 13-26.
15. Inzartsev A.V., L'vov O.Yu., Sidorenko A.V., Khmel'kov D.B. Arkhitekturnye konfiguratsii sistem upravleniya ANPA [Architectural configuration AUV control systems], *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika* [Underwater AUV research and robotics], 2006, No. 1, pp. 18-30.
16. Ermolov I.L. Rasshirenie funktsional'nykh vozmozhnostey mobil'nykh tekhnologicheskikh robotov putem povysheniya urovnya ikh avtonomnosti s ispol'zovaniem ierarkhicheskoy kompleksnoy obrabotki bortovykh dannykh: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Expanding functionality of mobile robot technology by increasing their level of autonomy with a hierarchical integrated data processing board. Dr. of eng. sc. diss], 2012, 350 p.

17. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Adaptivnoe pozitsionnoe upravlenie podvizhnymi ob"ektami, ne linearizuemyimi obratnoy svyaz'yu [Control of moving objects without linearizability feedback], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2015, Vol. 16, No. 8, pp. 523-530.
18. Martynova L.A., Mashoshin A.I., Pashkevich I.V., Sokolov A.I. Sistema upravleniya – naibolee slozhnaya chast' avtonomnykh neobitaemykh podvodnykh apparatov [Control system – the most difficult part of the autonomous underwater vehicle], *Morskaya radioelektronika* [Marine Electronics], 2015, No. 4 (54), pp. 23-32.
19. Martynova L.A., Mashoshin A.I., Pashkevich I.V., Sokolov A.I. Integrirovannaya sistema upravleniya avtonomnogo neobitaemogo podvodnogo apparata [Integrated Management System autonomous underwater vehicle], *Materialy 8-y Vserossiyskoy mul'tikonferentsii po problemam upravleniya, Divnomorskoe, 28 sentyabrya – 3 oktyabrya 2015g* [Materials of the 8th All-Russian multiconference management issues Divnomorskoe, September 28 - October 3, 2015], Vol. 3, pp. 191-193.
20. Martynova L.A., Mashoshin A.I., Pashkevich I.V., Sokolov A.I. Algoritmy, realizuemye integrirovannoy sistemoy upravleniya ANPA [Algorithms realized the integrated control system of AUV], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 1 (162), pp. 50-58.
21. Gorodetskiy V.I., Grushinskiy M.S., Khabalov A.V. Mnogoagentnye sistemy (obzor) [Multi-agent systems (review)], *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of Artificial Intelligence], 1998, No. 2, pp. 64-116.
22. Rzhavskiy G.A., Skobelev P.O. Kak upravlyat' slozhnymi sistemami? Mul'tiagentnye tekhnologii dlya sozdaniya intellektual'nykh sistem upravleniya predpriyatiyami [How to manage complex systems? Multi-agent technology to create intelligent business management systems]. Samara: Ofort, 2015, 290 p.
23. Innocenti B. A multi-agent architecture with distributed coordination for an autonomous robot. Ph.D. dissertation – Universitat de Girona, 2009, 146 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. А.Г. Голубев.

**Мартынова Любовь Александровна** – АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"; e-mail: martynowa999@bk.ru; 190068, Санкт-Петербург, пр. Римского-Корсакова, 49, кв. 1; тел.: +79219411395; НИЦ «Интегрированные системы освещения обстановки»; д.т.н.; с.н.с.

**Машошин Андрей Иванович** – e-mail: aimashoshin@mail.ru; 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30; тел.: +79217632345; НИЦ «Интегрированные системы освещения обстановки»; д.т.н.; профессор.

**Martynova Liubov Alexandrovna** – JSC CSRI Elektropribor; e-mail: martynowa999@bk.ru; 49-1, pr. Rimskogo-Korsakova, Saint-Petersburg, 190068, Russia; NIC "ISOO"; phone: +79219411395; dr. of eng. sc.; senior scientist.

**Mashoshin Andrey Ivanovith** – e-mail: aimashoshin@mail.ru; 32, Malaja Posadskaja street, Saint-Petersburg, 197046, Russia; phone: +79217632345; NIC "ISOO"; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 621.865(075.8)

**Б.Б. Михайлов, А.В. Назарова, А.С. Ющенко**

## **АВТОНОМНЫЕ МОБИЛЬНЫЕ РОБОТЫ – НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

*Рассматриваются новые методы управления и навигации роботами, способными к автономному поведению в условиях недетерминированной рабочей среды. Деятельность человека-оператора сводится к наблюдению за функционированием робототехнической системы и к постановке текущих задач. При этом добавляется обратная связь, которая*