

REVIEW AND OUTLOOK OF HYBRID UNDERWATER ROBOTIC SYSTEMS

V. V. Veltishchev ^a, E. I. Aladysheva ^b

Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)

^a vvv@bmstu.ru, ^b aladysheva_elena@mail.ru

Submitted 2022, February 1

Abstract. Nowadays, oceanographic research and underwater maintenance work are not possible without the use of various types of underwater vehicles. However, each type of vehicles has a number of disadvantages, which significantly limits the scope of its application. In underwater robotics, there is a trend in the design of hybrid underwater vehicle (HUV), consisting of two different types of vehicles. Because of the growth in the number of hybrid HUV, an urgent task is their comparative analysis and determination of development prospects.

Keywords: hybrid underwater vehicle; autonomous underwater vehicle; remotely operated vehicle; towed vehicle; unmanned underwater vehicle; unmanned motor boat; towed platform; review; remote control; underwater work.

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИБРИДНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В. В. Вельтищев ^a, Е. И. Аладышева ^b

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»*

^a vvv@bmstu.ru, ^b aladysheva_elena@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2022

Аннотация. Современные океанологические исследования и выполнение подводно-технических работ не представляются возможными без использования подводных аппаратов. Однако аппараты каждого класса имеют ряд недостатков, которые существенно ограничивают область их применения. В подводной робототехнике отмечается тенденция проектирования гибридных подводных робототехнических комплексов (ПРК), состоящих из двух аппаратов различных классов. В связи с ростом числа гибридных ПРК, актуальной задачей является их сравнительный анализ и определение перспектив развития.

Ключевые слова: гибридный подводный робототехнический комплекс; автономный необитаемый подводный аппарат; телеуправляемый необитаемый подводный аппарат; буксируемый подводный аппарат; необитаемый подводный аппарат; безэкипажное судно; буксируемая платформа; обзор; телеуправление; подводные работы.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение океанологических исследований и выполнение подводно-технических работ в современном мире не представляется возможным без использования широкого спектра подводных аппаратов различных классов. Однако каждый из классов подводных аппаратов предназначен для решения задач узкого профиля, что накладывает существенные ограничения на область их применения. Преимущества и недостатки подводных аппаратов основных классов описаны в [1].

Одним из способов повышения эффективности использования подводных робототехнических систем является совместное использование разнотипных аппаратов [2, 3].

Зачастую при таком подходе совмещаются аппараты, созданные не в комплексе, что усложняет обмен данными между ними и требует переключивания значительной части работ на оператора.

Как следствие, в подводной робототехнике отмечается тенденция проектирования полноценных подводных робототехнических комплексов (ПРК), которые объединяют в себе аппараты различных классов. Далее такие комплексы будут именоваться гибридными. Аппарат, выступающий в роли носителя, будет именоваться 1-м модулем, а переносимый аппарат – 2-м модулем.

В работе проводится анализ гибридных ПРК, в которых объединены два модуля. В качестве модулей рассматриваются необитаемые аппараты, каждый из которых оснащен движительно-рулевым комплексом и системой управления. Случаи буксировки пассивных датчиков физических полей, а также использование стационарных платформ не рассматриваются.

Для удобства сравнения рассмотренные ПРК были объединены в четыре группы по типу носителя.

КОНФИГУРАЦИЯ «НЕПОГРУЖНОЙ НОСИТЕЛЬ + ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ»

При проектировании гибридных ПРК распространенным решением является использование непогружного носителя для подводного аппарата. Таковым, как правило, является безэкипажный катер.

Безэкипажный катер транспортирует подводный аппарат к месту проведения работ, а также сопровождает его непосредственно во время выполнения задачи.

Управление гибридным ПРК происходит по радиоканалу через приемо-передатчик, установленный на безэкипажном катере. Далее информация по кабелю передается на подводный аппарат и обратно.

Примером ПРК с безэкипажным катером является комплекс компании «Подводная робототехника» [4]. В качестве подводного аппарата используется телеуправляемый подводный аппарат (ТПА) ГНОМ ПРО. Радиус действия радиоканала составляет 1 км, что позволяет достичь относительной независимости от судна обеспечения. Рабочая глубина ПРК ограничена 300 метрами.

Следующим примером является гибридный ПРК SEACAT компании «Subsea Tech». Как и в случае ПРК компании «Подводная робототехника», безэкипажный катер SEACAT переносит ТПА Tortuga. Комплекс предназначен для инспекции морских инфраструктур [5].

Гибридный ПРК Sea-kit компании «SEA-KIT International Ltd.» [6] отличается от рассмотренных выше тем, что безэкипажный катер переносит автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА). Во время выполнения работ управление АНПА осуществляется по цепочке «оператор – радиоканал – безэкипажный катер – гидроакустический канал – АНПА». Комплекс предназначен для картографирования морского дна.

По сравнению с традиционными подводными аппаратами, ПРК на основе безэкипажных носителей относительно независимы от судна обеспечения и сохраняют возможность теле-

управления. Использование подобных ПРК позволяет существенно сократить финансовые затраты на проведение подводных работ [4–6].

Недостатком такой конфигурации является постоянное присутствие носителя на поверхности.

КОНФИГУРАЦИЯ «ПОЛУПОГРУЖНОЙ НОСИТЕЛЬ + ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ»

Зачастую носителем подводного аппарата выступает полупогружной аппарат. Его корпус находится под водой, единственной надводной частью является мачта с антенной. Благодаря этому уменьшается кильватерный след ПРК, что повышает скрытность комплекса в целом. Также полупогружной аппарат менее подвержен влиянию погодных условий [7].

Все рассмотренные гибридные ПРК на основе полупогружных аппаратов имеют в своем составе буксируемый подводный аппарат (БПА).

Компанией «International Submarine Engineering» (ISE) был разработан гибридный ПРК SeaKeeper [8]. Полупогружной аппарат Dorado переносит БПА Aurora Towfish по заданной траектории либо согласно командам оператора. Областью применения ПРК называют противоминные операции. Дальность действия радиоканала составляет 10 км. В доступной литературе упоминаются демонстрации аппарата [9], однако информация о его использовании в реальных операциях отсутствует.

Схожую схему использования имеет ПРК AN/WLD-1 компании «Lockheed Martin» [10]. В качестве полупогружного носителя используется аппарат RMMV, а в качестве БПА – Raytheon AN/AQS-20. Имеются сведения о нескольких реализациях ПРК, однако в 2016 году проект был официально закрыт [11].

Plymouth University, U.K., разработал ПРК Survey Autonomous Semi-Submersible (SASS) SASS-6M на основе полупогружного носителя [12]. ПРК предназначен для мониторинга окружающей среды. Согласно [12], экспериментальный образец ПРК успешно прошел испытания.

К преимуществам гибридных ПРК на основе полупогружных аппаратов относятся:

- независимость от судна обеспечения;
- возможность как телеуправления, так и проведения автономных работ;
- сниженное влияние морского волнения;
- повышенная скрытность.

Однако применение любого рода надводных объектов не решает прежде всего основную проблему эксплуатации подобных ПРК: ограниченную глубину погружения ТПА.

КОНФИГУРАЦИЯ «ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ НОСИТЕЛЬ + ТПА»

С увеличением длины кабеля привязного подводного аппарата происходит рост гидродинамических сил, действующих на кабель, что в свою очередь оказывает существенное влияние на сам аппарат. Для снижения влияния кабеля и, как следствие, увеличения глубины погружения, проводятся разработки гибридных ПРК на основе телеуправляемого носителя.

Роль телеуправляемого носителя может выполнять ТПА. Связанный с судном обеспечения первичным кабелем-тросом, ТПА-носитель проводит начальный осмотр и стабилизируется вблизи объекта, после чего выпускает подчиненный ТПА, который соединен вторичным кабелем только с ТПА-носителем. В таком случае на подчиненный ТПА оказывает влияние только короткий вторичный кабель, а воздействие первичного кабеля компенсируется ТПА-носителем.

ПРК на основе телеуправляемого носителя был предложен компанией «Подводная робототехника» [13]. В качестве носителя использован модернизированный ТПА Sealion компании Fisher. На нем размещается ТПА ГНОМ компании «Подводная робототехника». ПРК предпо-

лагается использовать для осмотра труднодоступных мест, когда становится необходим малогабаритный аппарат. По данным [14], гибридный ПРК имеет практическую реализацию. Его испытания проходили в 2005 году, однако дальнейшая судьба ПРК неизвестна.

Аналогичный ПРК представлен компанией «Oceaneering» на основе ТПА Millennium и ТПА Spectrum ROV производства самой «Oceaneering» [15].

В качестве телеуправляемого носителя может использоваться буксируемая платформа. Буксируемая платформа, во-первых, позволяет реализовать работу в режиме телеуправления, когда платформа выполняет функции «гаража» для ТПА. Во-вторых, существует возможность буксировать платформу за судном обеспечения при условии, что ТПА закреплен внутри. Известно несколько реализаций гибридных ПРК с подобной конфигурацией.

Дальневосточный политехнический институт (ДВПИ) разработал гибридный ПРК Лортодромия-РВО [15], в котором реализованы как режим телеуправления, так и режим буксировки. Комплекс предназначен для выполнения обзорно-поисковых работ на больших глубинах.

Позже был реализован ПРК Kaiko компании «Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)» [16]. Областью применения комплекса являются океанологические исследования.

Согласно [15, 18], в мае 2003 года ТПА комплекса был утерян из-за обрыва кабеля во время шторма. Позже JAMSTEC разработала ТПА Kaiko Mk-IV взамен утраченного аппарата [17]. В настоящее время комплекс рассчитан на работу на глубинах до 7000 м [17].

Применение телеуправляемых носителей позволяет увеличить глубину проводимых работ, а использование буксируемой платформы расширяет функционал комплекса за счет возможности проведения работ при буксировании ПРК судном обеспечения. Однако очевидным недостатком конфигурации является зависимость от судна обеспечения.

КОНФИГУРАЦИЯ «АНПА + ТПА»

Основные недостатки ПРК на основе непогружных и телеуправляемых носителей можно решить использованием в качестве носителя АНПА. Такой комплекс может выполнять миссии автономно, а при необходимости – переходить в режим телеуправления одним из двух способов:

- всплытие АНПА на поверхность (аналогично непогружному носителю);
- выпуск буя с приемо-передатчиком на поверхность.

В отличие от ПРК других конфигураций, разработка, реализация и практическое применение которых освещено в доступной литературе, сведения о ПРК на основе АНПА отсутствуют.

Наиболее близкой практической реализацией является ПРК Swimmer компании Cybernetix Group [19]. Фактически ПРК Swimmer состоит из трех компонентов: ТПА, АНПА в качестве челнока для ТПА, донная платформа.

АНПА в данном комплексе используется исключительно для транспортировки ТПА к донной платформе. Работа комплекса начинается после стыковки АНПА-челнока с платформой и возможна только в режиме телеуправления. Очевидно, стационарная донная платформа существенно ограничивает рабочую зону ТПА и возможности комплекса в целом. По данным [19], ПРК прошел испытания в 2001 году.

В патенте [20], принадлежащем Elta Systems Ltd., приводится описание комплекса для обезвреживания мин с конфигурацией «АНПА + ТПА». В отличие от ПРК Swimmer, в патенте предполагается, что АНПА выполняет не только функцию транспортировки ТПА, но и решает задачу поиска аномальных объектов. Связь с оператором осуществляется с помощью выпускаемого на поверхность буя с приемо-передатчиком.

Гибридные ПРК на основе АНПА потенциально лишены недостатков, присущих другим гибридным ПРК, однако упоминаний о практической реализации гибридных ПРК на основе АНПА и ТПА в открытых источниках не найдено.

СРАВНЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЙ ГИБРИДНЫХ ПРК

Согласно проведенному исследованию, как отечественные, так и зарубежные компании проводят активные разработки гибридных ПРК на основе аппаратов разных классов.

Сведения о составе существующих гибридных ПРК приведены в табл. 1.

Состав гибридного ПРК обуславливает возможные режимы функционирования конкретного ПРК. В табл. 2 перечислены режимы функционирования рассмотренных ПРК. Для удобства сравнения были выделены 4 режима:

- «стыковка»: подводный аппарат пристыкован к носителю – режим используется при спуско-подъемных работах, для доставки подводного аппарата к месту проведения работ, а также для выполнения носителем задач, не требующих самостоятельной работы подводного аппарата;
- «буксировка»: носитель буксирует подводный аппарат за кабель-трос;
- «работа на стопе»: носитель занимает фиксированное положение, а подводный аппарат выполняет работы вокруг него, ограниченный длиной кабеля;
- «совместное движение»: подводный аппарат занимает определенное положение относительно носителя.

Как показано в табл. 2, ни один из существующих ПРК не предназначен для работы во всех четырех режимах.

Отдельно следует отметить, что в каждом из рассмотренных гибридных ПРК постоянно присутствует возможность управления от оператора. Исключением являются оба ПРК конфигурации «АНПА + ТПА»: ПРК Swimmer доставляет ТПА к донной платформе в автономном режиме, ПРК Elta Systems Ltd. может работать автономно, когда буй с приемо-передатчиком не выпущен на поверхность.

Таблица 1. Сравнение состава существующих гибридных ПРК

Название ПРК	Компания	1-й модуль	2-й модуль
	Подводная робототехника	безэкипажный катер	ТПА (ГНОМ ПРО)
Sea-Kit	SEA-KIT International Ltd.	безэкипажный катер (Sea-kit Maxlimer)	АНПА (HUGIN)
SeaCat	Subsea Tech	безэкипажный катер	ТПА (Tortuga ROV)
SeaKeeper	ISE	полупогружной аппарат (Dorado)	БПА (Aurora Towfish)
AN/WLD-1	Lockheed Martin	полупогружной аппарат (RMMV)	БПА (Raytheon AN/AQS-20)
SASS-6M	Plymouth University, U.K.	полупогружной аппарат	БПА
	Подводная робототехника	ТПА (Sealion)	ТПА (ГНОМ)
	Oceanearing	ТПА (Millennium)	ТПА (Spectrum)
Лортодромия-РВО	Дальневосточный политехнический институт (ДВПИ)	буксируемая платформа	ТПА
Kaiko	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	буксируемая платформа	ТПА
Swimmer	Cybernetix Group	АНПА + платформа	ТПА
	Elta Systems Ltd.	АНПА	ТПА

Таблица 2. Режимы функционирования гибридных ПРК

Тип ПРК	Название ПРК	Компания	Режимы функционирования			
			стыковка	буксировка	работа на столе	совместное движение
Непогружной носитель + подводный аппарат		Подводная робототехника	+	-	+	-
	Sea-Kit	SEA-KIT International Ltd.	+	-	не имеет физической связи с носителем	
	SeaCat	Subsea Tech	+	-	+	-
Полупогружной носитель + подводный аппарат	SeaKeeper	ISE	+	+	-	-
	AN/WLD-1	Lockheed Martin	+	+	-	-
	SASS-6M	Plymouth University, U.K.	+	+	-	-
Телеуправляемый носитель + ТПА		Подводная робототехника	+	-	+	-
		Oceaneering	+	-	+	-
	Лортодромия-РВО	Дальневосточный политехнический институт (ДВПИ)	+	+	+	-
	Kaiko	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	+	+	+	-
АНПА + ТПА	Swimmer	Cybernetix Group	+	-	с платформы	-
		Elta Systems Ltd.	+	-	+	+

В табл. 3 приведены особенности гибридных ПРК различных конфигураций с указанием числа их практических реализаций.

Поскольку ПРК Swimmer помимо двух аппаратов имеет в своем составе донную платформу, данный ПРК не может быть отнесен к гибридным. Таким образом, конфигурация «АНПА + ТПА» является единственной группой, которая в настоящий момент не имеет практических реализаций. При этом потенциально ПРК конфигурации «АНПА + ТПА» способен заменить собой комплекс любой другой конфигурации.

Таблица 3. Основные особенности гибридных ПРК различных конфигураций и тип выполняемых работ

Конфигурация гибридного ПРК	Особенности гибридного ПРК					Число практических реализаций	Область применения гибридного ПРК
	независимость от судна-носителя	работа без участия оператора	увеличенная глубина погружения	независимость от погодных условий	скрытность		
Непогружной носитель подводный аппарат +	+	+	-	-	-	3	обзорно-поисковые задачи
Полупогружной носитель подводный аппарат +	+	+	-	+	±	3	противоминные операции; обзорно-поисковые задачи
Телеуправляемый носитель ТПА +	-	-	+	-	-	4	осмотровые работы; подводно-технические работы
АНПА + ТПА	+	+	+	+	+	0	осмотровые работы; подводно-технические работы; противоминные операции

Малое число практических реализаций гибридных ПРК не позволяет сделать однозначный вывод о существовании типовых схем применения каждой конфигурации. Однако рассмотренные реализации и концепции гибридных ПРК позволяют назвать конфигурацию «АНПА + ТПА» имеющей наиболее широкую область применения. Кроме того, согласно табл. 3, данная конфигурация имеет ряд преимуществ перед остальными.

На этом основании можно рассмотреть возможность расширения функционала конфигурации «АНПА + ТПА» за счет внедрения недостающего пока режима функционирования «буксировка». Первичный анализ такой возможности рассмотрен в [3], однако проведенное исследование не является достаточным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для автоматизации проведения подводных работ все чаще применяют гибридные ПРК на основе аппаратов различных классов.

Использование гибридных ПРК позволяет существенно упростить решение многих практических задач. Однако рассмотренные гибридные ПРК обладают рядом недостатков, таких как ограничение глубины погружения, зависимость от судна обеспечения, зависимость от погодных условий.

Подобных недостатков лишены гибридные ПРК конфигурации «АНПА + ТПА». Область применения гибридных ПРК на основе автономных носителей шире, чем у комплексов других конфигураций, и может быть расширена дополнительно за счет введения дополнительных режимов функционирования.

В настоящее время практические реализации гибридных ПРК на основе автономных носителей отсутствуют. Однако существование концепций подобных комплексов и аналогичных разработок показывают живой интерес к данному типу ПРК.

Актуальной задачей остается определение технических характеристик отдельных аппаратов в составе комплекса «АНПА + ТПА» и соединяющего их кабеля с точки зрения соответствия каждому из режимов функционирования ПРК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бочаров Л.** Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. 2009. № 7 (97). С. 62–69. [L. Bocharov, “Uninhabited underwater vehicles: status and general development trends”, (in Russian), in *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes*, № 7 (97), pp. 62-69, 2014.]
2. **Навигационное** и алгоритмическое обеспечение комплекса АНПА-ТПА при решении задач мониторинга донной поверхности / А. А. Борейко [и др.] // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2014. № 3 (152). С. 112–127. [A. A. Boreiko, *et al.*, “Navigational and algorithmic support of the AUV-ROV complex in solving problems of bottom surface monitoring”, (in Russian), in *Izvestiya YuFU. Tehnicheskie nauki*, no. 3 (152), pp. 112-127, 2014.]
3. **Вельтищев В. В., Аладышева Е. И.** О повышении функциональной эффективности автономных необитаемых подводных аппаратов // *Перспективные системы и задачи управления: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции и XI молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах»* (Нижний Архыз, 5–9 октября 2020 г.). Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2020. С. 77–85. [V. V. Veltishchev, E. I. Aladysheva, “On Improving the Functional Efficiency of Autonomous Uninhabited Underwater Vehicles”, (in Russian), in *Perspective Systems and Control Problems: Proceedings of the XV All-Russian Scientific and Practical Conference and the XI Youth School-Seminar "Control and Information Processing in Technical Systems"*, Nizhny Arkhyz, 2020, pp. 77-85.]
4. **Розман Б. Я., Елки А. В.** Гибридный радиоуправляемый комплекс для дистанционного подводного мониторинга в режиме реального времени // *Международный журнал прикладных и документальных исследований*. 2019. № 10. С. 175–178. [B. Ya. Rozman, A. V. Elki, “Hybrid radio-controlled complex for remote underwater monitoring in real time”, (in Russian) in *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i dokumental'nyh issledovaniy*, no. 10, pp.175-178, 2019.]
5. **Официальный сайт Subsea Tech.** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.subsea-tech.com/seacat> (дата обращения 19.04.2021). [Official website of Subsea Tech (2021, Apr. 19). [Online]. Available: <https://www.subsea-tech.com/seacat>]
6. **Официальный сайт SEA-KIT International Ltd.** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sea-kit.com> (дата обращения 20.05.2021). [Official website of SEA-KIT International Ltd. (2021, May 20). [Online]. Available: <https://www.sea-kit.com>]
7. **DORADO** // International Submarine Engineering Ltd. [Electronic resource]. URL: <http://www.ise.bc.ca/dorado.html> (accessed 22.10.2017).
8. **International Submarine Engineering ISE DORADO Semi-Submersible Minehunting Vehicle** // Интернет-платформа Geo-matching.com. [Электронный ресурс]. URL: <https://geo-matching.com/auvs-autonomous-underwater-vehicles/ise-dorado-semi-submersible> (дата обращения 05.06.2019). [International Submarine Engineering ISE DORADO Semi-Submersible Minehunting Vehicle // Internet platform Geo-matching.com (2019, Jun. 5). [Online]. Available: <https://geo-matching.com/auvs-autonomous-underwater-vehicles/ise-dorado-semi-submersible>]
9. **ISE News Archives: Seakeeper** // International Submarine Engineering Ltd. [Electronic resource]. URL: http://www.ise.bc.ca/news_2005.html#SEAKEEPER (accessed 01.12.2017).
10. **Larkin L. J., Thomsen C. J.** Simulation validation for a unmanned semisubmersible vehicle // *Oceans 2003: Celebrating the Past ... Teaming Toward the Future* (IEEE Cat. No.03CH37492) (San Diego, CA, USA 22-26 Sept. 2003), IEEE. 2003. No. 3. Pp. 1431-1436. DOI: 10.1109/OCEANS.2003.178072.
11. **Eckstein M.** Navy’s Remote Minehunting System Officially Canceled, Sonar May Live On // *USNI News*. [Electronic resource] URL: <http://news.usni.org/2016/03/24/navys-remote-minehunting-system-officially-canceled-sonar-may-live-on> (accessed 17.01.2022).
12. **Roberts G. N., Sutton R.** *Advances in Unmanned Marine Vehicles*. UK: IET, 2006. P. 441. DOI: 10.1049/PBCE069E.
13. **Войтов Д. В.** Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты + СД. М.: Моркнига, 2012. 506 с. [D. V. Voitov, *Remote-controlled uninhabited underwater vehicles + CD*, (in Russian). Moscow: Morkniga, 2012.]
14. **Розман Б. Я.** Технология подводных осмотровых работ // *GNOM ROV Underwater Remotely Operated Vehicle*. [Электронный ресурс]. URL: <https://gnomrov.com/about/articles/gnom-family/> (дата обращения 27.07.2020). [B. Ya. Rozman (2020, Jul. 27), “Underwater Inspection Technology” [Online], (in Russian), in *GNOM ROV Underwater Remotely Operated Vehicle*. Available: <https://gnomrov.com/about/articles/gnom-family/>]
15. **Алексеев Ю. К.** Двухзвенные глубоководные робототехнические системы и некоторые перспективы подводной робототехники // *Технические проблемы освоения Мирового океана*. 2019. № 8. С. 159–166. [Yu. K. Alekseev, “Two-link deep-sea robotic systems and some prospects of underwater robotics”, (in Russian), in *Tehnicheskie problemy osvoeniya Mirovogo okeana*, no. 8, pp. 159-166, 2019.]
16. **Development of 7000m work class ROV “KAIKO Mk-IV”** / H. Nakajoh, et al. // *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey* (Monterey, CA, USA, 19-23 Sept. 2016), IEEE. Pp. 1-6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761063.
17. **Remotely Operated Vehicle KAIKO** // Официальный сайт JAMSTEC. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kaiko.html> (дата обращения 17.01.2022) [Remotely Operated Vehicle KAIKO // Official website of JAMSTEC (2022, Jan. 17). [Online]. Available: <https://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kaiko.html>]
18. **Ishibashi S., Yoshida H.** Developing a Sediment Sampling ROV for the Deepest Ocean // *Sea Technology*. 2008. No. 49 (3). Pp. 43-46.

19. **Chardard Y., Copros T.** SWIMMER: Final sea demonstration of this innovative hybrid AUV/ROV system // Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology (Tokyo, Japan, 16-19 April 2002). 2002. Pp. 17-23. DOI: 10.1109/UT.2002.1002371.

20. **Farber A., Erell E.** Underwater system and method // Patent United States No. US1000026B2. Published 21.04.2016.

ОБ АВТОРАХ

ВЕЛЬТИЦЕВ Вадим Викторович, зав. каф. «Подводные роботы и аппараты» (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Дипл. гидродин. (МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1977). Д-р техн. наук (МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013). Иссл. в обл. принципов построения исполнительных систем подводных аппаратов.

АЛАДЫШЕВА Елена Игоревна, асп. каф. «Подводные роботы и аппараты» (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Дипл. магистра мехатрон. и робототехн. (МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018). Готовит дис. о системах управления гибридных ПРК.

VELTISHCHEV, Vadim Victorovich, Head of the Dept. of Underwater Robots and Vehicles (BMSTU). Dipl. Fluid Dynamics (BMSTU, 1977). Dr. of Tech. Sci. (BMSTU, 2013).

ALADYSHEVA, Elena Igorevna, Postgrad. Student, Dept. of Underwater Robots and Vehicles (BMSTU). Dipl. Master of Mechatronics & Robotics (BMSTU, 2018).

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 26, no. 1 (95), pp. 4-12, 2022. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).