

УДК 551.46.077

## СВЕРХЛЕГКИЙ ПОДВОДНЫЙ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ОСМОТРОВЫЙ АППАРАТ

**Розман Б.Я., Елкин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: borisdrug@mail.ru, elkin@gnomrov.ru*

В статье рассматривается проект создания сверхлегкого подводного телеуправляемого осмотрового аппарата, такие аппараты предназначены для проведения подводных исследований, поисково-осмотровых операций, в частности поиска и идентификации потенциально опасных объектов, экомониторинга, сопровождения водолазных работ, инспекций трубопроводов, плотин и др. гидросооружений. Также имеют уникальное применение инспекции резервуаров с отработанным ядерным топливом. Определены основные функции и состав, весогабариты, предложены конструкторские решения. Аппарат-робот оснащен видеокамерами, светодиодными фонарями и лазерными указателями, он имеет нейтральную плавучесть, передвигается под водой с помощью нескольких движителей, получая команды от оператора, находящегося на поверхности, через тонкий (3–4 мм) кабель-связку длиной до 500 м. Стремительный прогресс высоких технологий, миниатюризация компонентов (электроника, видеокамеры и др.) позволили создать новый вид техники – телеуправляемые подводные аппараты-роботы, отличающиеся малыми весогабаритами, невысокой стоимостью, низким энергопотреблением, автономным бортовым питанием. Они существенно снижают стоимость и риски подводно-технических работ, могут проникать и исследовать места, недоступные водолазам. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН в сотрудничестве с рядом компаний ведет разработки таких аппаратов начиная с 2000 г. В 2002 г. была проведена экспедиция ИОРАН совместно с МЧС на оз. Байкал по поиску и подъему затонувших судов и автомобилей, провалившихся под лед. Эта экспедиция показала высокую эффективность поисковых и осмотровых работ с помощью телеуправляемых подводных аппаратов и задала направление развития и разработок этой техники.

**Ключевые слова:** электроника, подводный аппарат, робот, осмотры, инспекция

## ULTRA-LIGHT REMOTELY OPERATED UNDERWATER OBSERVATION VEHICLES

**Rozman B. Ya., Elkin A. V.**

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow,  
e-mail: borisdrug@mail.ru, elkin@gnomrov.ru*

The article discusses the project of creating ultra-light remotely operated underwater observation vehicle. Such devices are designed for underwater researches, search and inspection operations, in particular, search and identification of potentially dangerous objects, eco-monitoring, support of diving operations, inspections of pipelines, dams and other hydraulic structures. Also have a unique application – inspection of tanks with spent nuclear fuel. The main functions and composition, weight and dimensions are defined, design solutions are proposed. The robotics vehicle is equipped with video cameras, led lights and laser pointers, it has a neutral buoyancy, moves under water with the help of several thrusters, receiving commands from the operator, located on the water surface, through a thin (3-4mm) cable-bundle up to 500m. Fast progress of high technologies, miniaturization of components (electronics, video cameras, etc.) allowed to create a new type of equipment – remote-controlled underwater robots, characterized by small weight, low cost, low power consumption, Autonomous onboard power. They significantly reduce the cost and risks of underwater engineering works, can penetrate and explore places inaccessible to divers. Institute of Oceanology. P. P. Shirshov Russian Academy of Sciences in cooperation with a number of companies, leads the development of such devices since 2000. In 2002. was carried expedition jointly with a team of the emergencies Ministry on the lake. Baikal on search and lifting of sunken ships and cars that fell under the ice. This expedition showed high efficiency of search and inspection works with the help of remote-controlled underwater vehicles and set the direction of development and development of this equipment.

**Keywords:** electronics, underwater vehicle, survey, robotics, inspection

Освоение нефтегазового потенциала континентального шельфа стало стратегическим направлением развития сырьевой отрасли многих стран. Как следствие, значительно возросло количество подводных сооружений и коммуникаций, требующих периодического, в том числе визуального, мониторинга.

Одним из эффективных способов проведения подводного мониторинга являются использование подводных телеуправляемых осмотровых аппаратов-роботов (ПТОА или ROV – remotely operated underwater vehicle) [1]. В соответствии с отраслевыми требованиями необходимо регулярно прово-

дить дистанционные подводные осмотры судов, трубопроводов, платформ, портовых сооружений и других погруженных объектов, научные и экологические работы. ROV имеет нейтральную плавучесть и управляется по тонкому кабелю с помощью джойстика, при этом он движется в любом направлении по командам оператора, передавая наверх видео и телеметрическую информацию.

Сверхлегкие подводные аппараты-роботы (вес порядка 3–15 кг) начали появляться в конце 1990-х гг. Аппараты такого класса впервые были инициативно разработаны в ИО РАН в 2000–2001 гг. [2]. Для дальней-

шего развития линии сверхлегких ПТОА необходима разработка на базе современных технологий нового поколения таких аппаратов с учетом приобретенного за предыдущие годы опыта их эксплуатации [3].

Целью данной работы является проектирование сверхлегкого аппарата-робота, предназначенного для дистанционного (с поверхности или берега) подводного мониторинга, включающего осмотры подводных объектов снаружи и внутри (например, инспекция состояния труб, шлюзов, платин, водозаборов), проведение поисково-спасательных работ на акваториях, а также научно-исследовательские применения. В новом аппарате значительно усилены имеющиеся конкурентные преимущества ПТОА серии ГНОМ за счет следующих инноваций.

1. В его конструкции использованы пластмасса и композитные материалы вместо металла, что существенно уменьшает вес и исключает дополнительную плавучесть.

2. Важной особенностью является использование автономного источника питания на борту, что уменьшает толщину и увеличивает длину кабеля-связки, делает возможным аварийное всплытие.

3. Аппарат оснащен БНС – бортовой системой навигации для выполнения автоматического движения по заданному курсу и передачи координат аппарата на пульт оператора.

4. Аппарат оснащен GPS для определения координат при движении по поверхности.

5. Имеется возможность установки двух степенного мини-манипулятора и пробоотборника для взятия проб воды и грунта.

6. Аппарат имеет на борту датчики температуры и давления. Также есть канал подключения датчиков электропроводности, pH, сонара.

7. Весьма перспективной представляется возможность удаленного управления по интернету.

Эти инновации позволят сделать аппарат многофункциональным, упростить его конструкцию, снизить затраты на производство.

Создаваемый ПТОА ГНОМ-микро имеет характеристики класса «персонального» аппарата, т.е. такого, который человек может взять с собой, быстро развернуть в рабочее состояние. Это означает компактность (объем порядка 2–4 л), легкий вес (вес самого аппарата порядка 2 кг, вес полного комплекта порядка 12 кг), маршевая скорость – 2–3 узла, простое управление (пульт – джойстик Sony play station) движением под водой. Он должен быть связан с надводным блоком питания и управления с помощью тонкого (толщина не более 3 мм) и гибкого кабеля связи длиной до 120 м, работать на глубинах до 100 м, передавать

видеосигнал высокого качества изображения. Также важно отображение на экране данных (телетекст). Камера имеет сервопривод наклона. При этом есть возможность электропитания от источника постоянного напряжения 12 В, 12 АЧ с ресурсом работы не менее 40 мин в среднем режиме мощности. Весь комплект, включая монитор или видеорегистратор, должен размещаться в двух переносных чемоданах типа «дипломат».

В аппарате предусмотрена возможность установки и подключения гидролокатора (сонара) кругового обзора (типа Micron фирмы Trittech или его аналога) с выводом акустического изображения на компьютер.

### Материалы и методы исследования

В процессе проектирования проанализированы материалы для изготовления прочного корпуса, корпусов движителей и прочих элементов подводного модуля, работающих под давлением. Учитывая требования по коррозионной стойкости (работа в соленой воде), прочности (способность выдерживать давление воды на глубинах до 50 м), удельному весу, технологичности и экономической целесообразности окончательно выбран сплав АМГ.

В целях минимизации массогабаритных характеристик и энергопотребления выбрана схема движительно-рулевого комплекса на базе трех реверсивных мини-двигателей типа ДПР-42 (или аналогов) – двух маршевых и одного вертикального, обеспечивающих три степени свободы передвижения, а также наклонной видеокамерой, существенно расширяющей обзор.

### Результаты исследования и их обсуждение

Выполнена конструктивная проработка, включая прочностные расчеты, всех элементов аппарата (рис. 1). Условно подводный модуль можно представить в виде трех основных узлов: прочный корпус, задняя крышка и три практически идентичных корпуса двигателей.

В передней части прочного корпуса, выполненного в виде цилиндра, расположен сферический иллюминатор из оргстекла, сервопривод наклона видеокамеры и сама видеокамера. В центральной части цилиндра устанавливаются платы электроники. По бокам предусмотрены отверстия для крепления маршевых движителей. Снизу установлены защитные полозья, также предназначенные для закладки балласта, компенсирующего разность плотности воды. Задняя крышка состоит из платы электроники, крепления вертикального движителя и гермовводов основного кабеля, датчика глубины и др. В корпусах двигателей для передачи вращающего момента с вала электродвигателя на ось гребного винта применена магнитная муфта собственной разработки, обеспечивающая высокий КПД и надежность работы.

1. Заглушка полиэфир
2. Кольцо уплотнительное
3. Подложка опорные
4. Крепление блистера
5. Иллюминатор
6. Корпус камеры
7. Кольцо крепления электронки
8. Сборка двигателя горизонтального
9. Сборка задней крышки
10. Шильда крепления плавучести
11. Хомут крепления кабеля вертикального
12. Сборка двигателя вертикального
13. Сборка двигателя горизонтального
14. Болт
15. Крепление двигателя
16. Шильда
17. Плата электронки
18. Крепление электронки
19. Крепление электронки
20. Кронштейн крепления камеры
21. Болт
22. Кольцо уплотнительное
23. Втулка опорных полюсов
24. Кольцо уплотнительное
25. Гайка
26. Болт

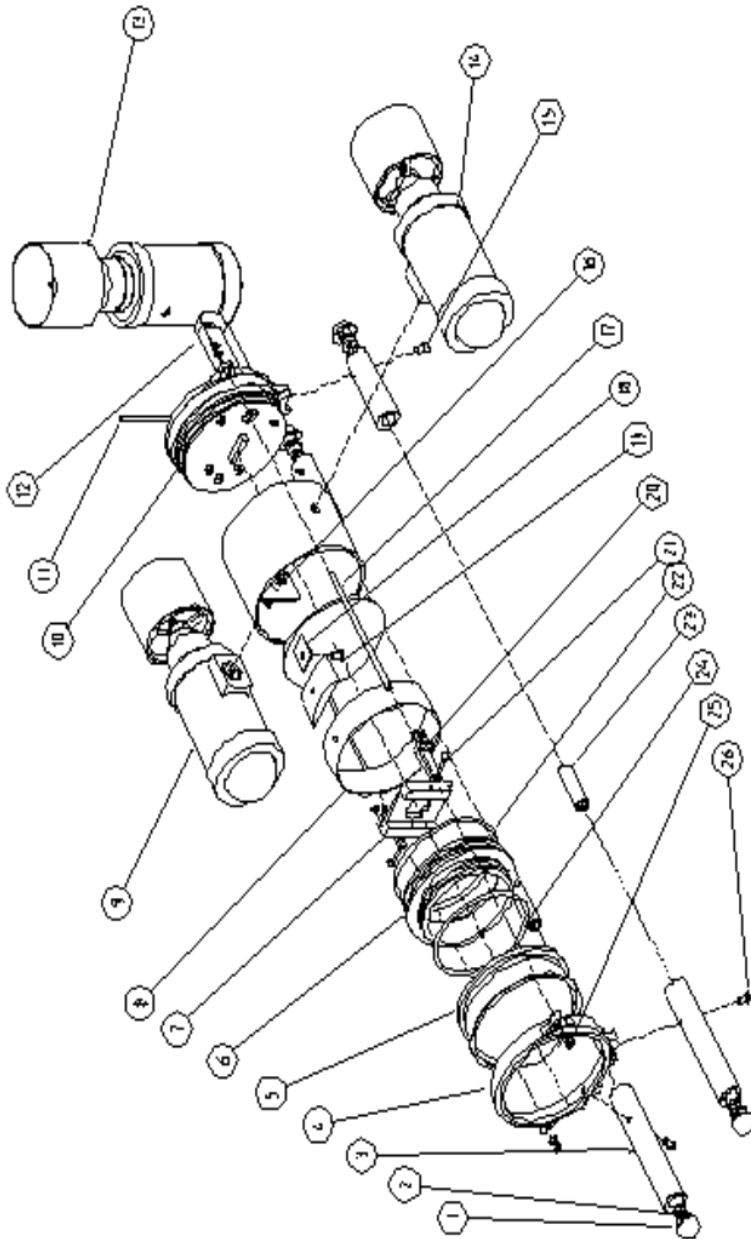


Рис. 1. Сборочный чертеж подводного аппарата

Таблица 1

Наименование узла или блока	Габаритные размеры, мм	Вес в воздухе, кг
Подводный модуль с блоком плавучести	220x180x150	2,8
Надводный блок питания/управления	240x220x100	3,2
Кабель коаксиальный РК-50, с кевларовым упрочнением и дополнительной герметичной оболочкой	диаметр 3	1,25 кг на 100 м
Катушка с кабелем 50 м	190x190x100	2
Транспортировочные кейсы (2 кейса)	400x350x180	2
Общий вес системы, кг	18	

Таблица 2

Технические характеристики	
Максимальная скорость движения вперед, м/с	до 1,5
Скорость вертикального движения, м/с	до 0,3
Максимальная скорость движения назад, м/с	До 0,5
Рабочая глубина, м	до 50 (ограничена длиной кабеля)
Предельно допустимая глубина, м	до 100
Длина кабеля, м	до 120
Потребляемая мощность, Вт	80
Питание от сети, В	220
Питание от автономного источника, В	12
Время работы от встроенного аккумулятора 12В, 12Ач, мин	60
Влажность окружающей среды, %	до 100
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+45

Спроектированная бортовая электроника обеспечивает прием и обработку команд управления, поступающих с надводного блока (пульта оператора) по кабелю-связке, оцифровку и передачу на пульт оператора телеметрической информации – данных от датчиков (компас, датчик глубины и др.) и видеосигнала с камеры. Алгоритм управления аппарата реализован программой (использован язык Си+ и ассемблер), которая записывается и хранится в памяти встроенного микроконтроллера (64-выводной чип АТМega128 фирмы Amtel).

В табл. 1 приведен состав и основные расчетные весогабаритные параметры ПТООА.

Для управления аппаратом используется стандартный переносной пульт – джойстик Sony PlayStation, обеспечивающий простоту и легкость «пилотирования». Блок управления имеет два композитных видеовыхода, предназначенных для подключения встроенного ЖК-монитора и любых других серийных устройств отображения/записи видео информации. Также на блоке управления предусмотрены разъемы для подключения аккумуляторной батареи 12В.

В результате проведения натурных испытаний макета в открытых водоемах (Черное море, Ладога) были протестированы расчетные тактико-технические характеристики ПТООА и системы в целом [4] (табл. 2).

Как уже упоминалось, на аппарате предусмотрена возможность установки и интеграции в систему ультразвукового гидролокатора кругового обзора модели Tritech Micron DST Sonar. С его помощью существенно повышается эффективность поисковых операций, этот сонар может освещать подводную обстановку в радиусе до 100 м, позволяя обнаруживать подводные объекты. В табл. 3 приведены технические характеристики гидролокатора.

Таблица 3

Технические характеристики	
Рабочая частота, кГц	650–950
Дальность работы, м	2–75
Сектор обзора, град	0...360
Разрешающая способность, мм	50
Угол раскрытия луча (вертикальный), град	38
Угол раскрытия луча (горизонтальный), град	2,5
Рабочая глубина, м	до 500
Параметры питания, пост. напр.	12–50 В, 4,5 Вт
Габаритные размеры, мм	
– диаметр	56
– длина	78,5
Вес, кг:	
– в воздухе	0,29
– в воде	0,15

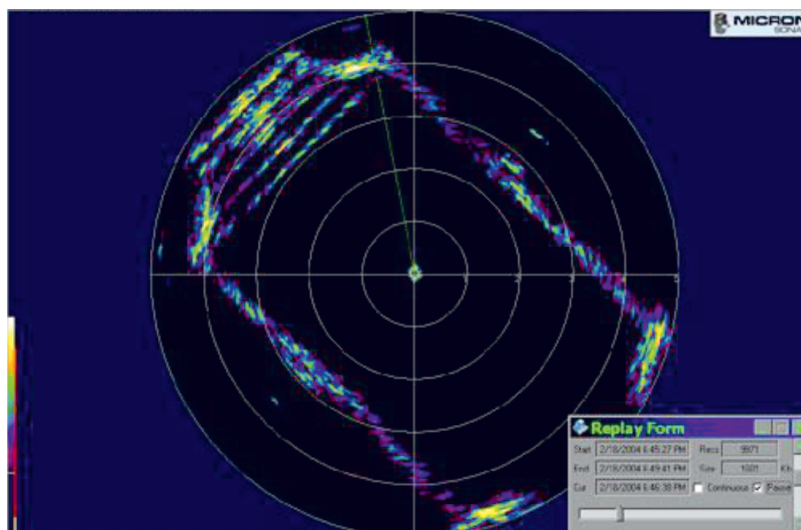


Рис. 2. Отображение объекта на экране PC с помощью гидролокатора (сонара) Micron

Для двунаправленной передачи данных телеметрии (с датчиков, гидролокатора и других устройств) через кабель-связку и команд управления аппаратом применена дифференциальная двойная витая пара (интерфейс RS 485), усиленная кевларовой оплеткой с дополнительной герметичной оболочкой.

Все данные телеметрии с гидролокатора отображаются на экране стандартного PC с предустановленной программой Micron Sonar, работающей под Windows. Подключение к PC реализовано посредством COM-порта. Для этого применен преобразователь интерфейса RS 485 → RS 232 ADAM.

Программное обеспечение Micron Sonar позволяет менять параметры работы гидролокатора – угол обзора (360°, 180° или 90°), радиус осмотра (5–100 м), масштаб, а также вести запись информации на компьютер.

Наличие возможности установки гидролокатора кругового обзора расширяет функции ПТООА ГНОМ-микро, превращая его в поисково-осмотровое средство (рис. 2.) [5, 6]. Кроме того не требуется никаких специальных устройств для записи видеоизображения, так как при наличии на компьютере стандартного устройства видеозахвата запись будет производиться на жесткий диск. При этом сохраняются все отличительные характеристики «персонального» подводного аппарата. Разработанное программное обеспечение обеспечивает несложное управление с беспроводного джойстика Sony PlayStation.

### Заключение

Использование современной микроэлектроники, миниатюрных видеокамер

и новых материалов и технологий позволило спроектировать сверхлегкий подводный телеуправляемый аппарат для широкого круга применений, как научно-исследовательских, так и промышленных. Этот аппарат во многих случаях может полностью или частично заменить использование водолазов при поисковых операциях и осмотрах подводных объектов.

*Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН по теме № 0149-2018-0011.*

### Список литературы

1. Елкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я. Телеуправляемые подводные аппараты-роботы «ГНОМ» // Освоение морских глубин. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. С. 332–336.
2. Комолов М.В., Мысливец И.В., Елкин А.В., Розман Б.Я., Шерстов Е.А. ТНПА СуперГНОМ ПРО-2 продолжение линии мощных мини-роботов ГНОМ // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011»: в 2 т. М.: АИП, 2011. Т. 2. С. 147–151.
3. Алексеев Ю.К. Развитие подводной робототехники в Дальневосточном регионе нашей страны // Введение в подводную робототехнику. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. С. 97–107.
4. Сагалевиц А.М. Роль подводных аппаратов в освоении глубин океана // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2017»: в 2 т. М.: АИП, 2017. Т. 2. С. 120–129.
5. Гамазов Н.И., Гладкова О.И., Лямина Е.А., Егоров С.А. Информационно-управляющая система гибридного телеуправляемого подводного аппарата // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015»: в 2 т. М.: АИП, 2017. Т. 2. С. 209–213.
6. Капцов А.С., Артамонова А.В., Елкина М.М. Информационно-управляющая система телеуправляемого подводного аппарата // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015»: в 1 т. М.: АИП, 2015. Т. 1. С. 359–363.