

ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ РОССИЙСКОЙ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д. В. Войтов

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: voitov2008@yandex.ru*

В настоящей статье приводится изложение материалов по разработке, производству, составу и конструктивным особенностям серийных российских телевизуемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) «Марлин-350» и «РТПА-1000». Данные аппараты позволяют эффективно выполнять комплексные подводные работы и научные исследования на глубинах 350 и 1000 м, с возможностью оперативного их оснащения инструментами, гидроакустическими системами, океанологическими приборами: датчиками и биологическими и геологическими пробоотборниками.

Ключевые слова: телевизуемый необитаемый подводный аппарат, ТНПА «Марлин-350», «РТПА-1000», подводные исследования

Введение

Без применения современных телевизуемых подводных аппаратов невозможно представить проведение научно-исследовательских, поисковых и подводно-технических работ в морях и океанах. В последние годы в ответ на санкционный запрет на подводную технику и новые технологии выполнения подводных работ к созданию ТНПА различных классов в России подключилось около десятка предприятий. Однако качество аппаратов не всегда полностью соответствует требованиям, предъявляемым к современным ТНПА. Часто это связано с отсутствием на рынке комплектующих изделий: электронно-компонентной базы, подводных разъемов, гидроакустических систем. В рамках программ импортозамещения постепенно упорядочивается разработка и выпуск отечественной радиоэлектроники и элементов полезной нагрузки. Обеспечение увеличивающегося спроса на ТНПА со стороны заинтересованных организаций, освоение перспективного и эксклюзивного сегмента рынка, и самое главное – замещение импорта аппаратами, произведенными в полном объеме внутри страны – те цели, к которым стремились специалисты АО «Тетис Про», на конструкторской и производственной базе которого были разработаны и построены телевизуемые необитаемые подводные аппараты «Марлин-350» и «РТПА-1000» (руководитель работ Войтов Д. В.). Кабельную лебедку, захватное устройство, манипуляторы и движители (5 кВт)

по частным ТЗ разработали конструкторы компании «Гидробот» (г. Москва). «Марлин-350» – легкий поисково-обследовательский ТНПА, предназначенный для поиска подводных объектов, проведения исследовательских инспекционных работ, охраны водных акваторий на глубине до 350 м. «РТПА-1000» – рабочий ТНПА среднего типа, предназначенный для выполнения научных исследований и отбора проб, поисковых работ, обследования трубопроводов и кабельных линий, подледных работ, работ на нефтяных и газовых месторождениях на глубине до 1000 м (опционно – 3000 и 6000 м). В соответствии с разработанными программами и методиками испытаний, образцы осмотрового и рабочего ТНПА прошли все виды бассейновых, полигонных и морских глубоководных проверок, подтвердивших заданные технические характеристики.

В процессе проектирования необходимо было обеспечить хорошие гидродинамические свойства и массо-габаритные параметры аппаратов. Помимо основных элементов, входящих в состав аппаратов, нужно было предусмотреть наличие резервных разъемов и возможность подключения дополнительного оборудования: океанологических датчиков и инструмента.

Большую помощь в реализации проектов оказал опыт работ с электрическими и гидравлическими аппаратами компаний SeaBotix, Seamor, SAAB Seaeye, SMD, Sperre, включающий техническую приемку аппаратов на производстве, обучение и пилотирование и, самое главное: сервисное обслуживание и ремонт аппаратов в России.

Состав, ТТХ и конструкция ТНПА «Марлин-350»

Комплекс ТНПА «Марлин-350» был разработан в рамках инициативного ОКР. В его состав входит надводный модуль с блоком питания и тремя мониторами, ручной пульт управления, кабель палубный, ручная кабельная лебедка. Основные характеристики комплекса ТНПА сведены в таблицу 1.

Табл. 1 – Тактико-технические характеристики комплекса ТНПА «Марлин-350»

Параметр	Значение
Рабочая глубина погружения, м	350
Масса, кг:	
ТНПА	60
кабельная лебедка	100
надводный блок управления	85
пульт управления	0.4
Габаритные размеры Д×Ш×В, мм:	
ТНПА	980×540×400
кабельная лебедка	690×800×730
надводный блок управления	540×620×880
пульт управления	190×140×125

Продолжение таблицы 1

Параметр	Значение
Скорость движения маршем, м/с	1.0
Скорость вертикального движения, м/с	0.5
Угловая скорость, град/с	62
Точность автоматической стабилизации: по курсу, град/по глубине, м	$\pm 2/\pm 0.5$
Длина/диаметр кабеля палубного, м/мм	10/22
Потребляемая мощность, кВт	3
Напряжение питания, В	220, 50 Гц

Два вида ТНПА «Марлин-350» представлены на рисунке 1.

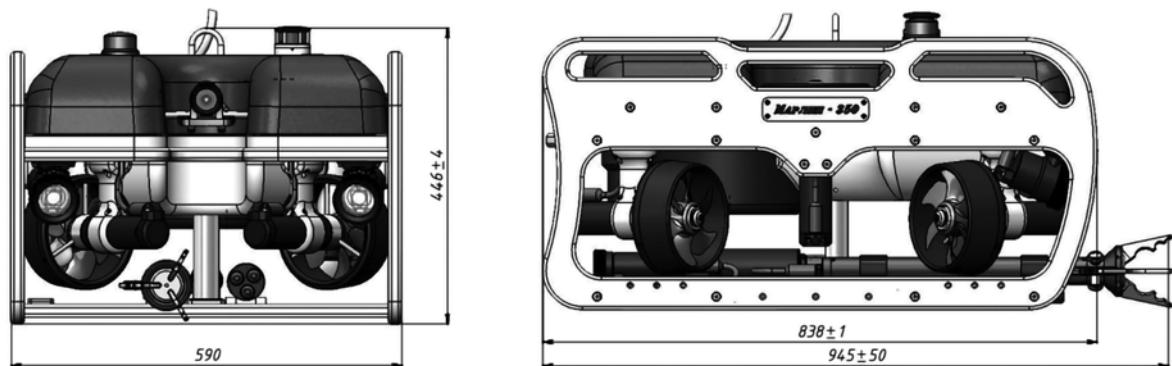


Рис. 1 – ТНПА «Марлин-350»

ТНПА состоит из несущей рамы из полипропилена плотностью 900 кг/м³, герметичных корпусов бортового коммутационного модуля, навигационного блока, коммутационно-разветвительного блока, светильников, видеокамер, привода наклона носовой камеры, одностепенного манипулятора, комплекта герметичных разъемов, блоков плавучести из полистирольного пенопласта высокой плотности, кронштейнов и элементов крепежа. На ТНПА установлены гидролокатор кругового обзора Ehologger и маяк-ответчик SeaTrak. Для обеспечения удержания ТНПА в точке работ и движения его в подводном положении при воздействии подводных течений, наряду с небольшой массой, движительно-рулевой комплекс (ДРК) ТНПА должен был обеспечить достаточный суммарный упор двигателей. На ТНПА «Марлин-350» установлены шесть двигателей с магнитной муфтой. Горизонтальные двигатели установлены на ТНПА по векторной схеме, угол наклона относительно центральной оси составляет 35 градусов. Двигатель (рисунок 2) представляет собой бесколлекторный двигатель Maxon, помещенный в герметичный корпус вместе с платой управления двигателем. Вертикальные двигатели размещаются в каналах кожуха и плавучести и крепятся к боковым элементам рамы ТНПА. Схема движительного комплекса ТНПА «Марлин-350» представлена на рисунке 2.

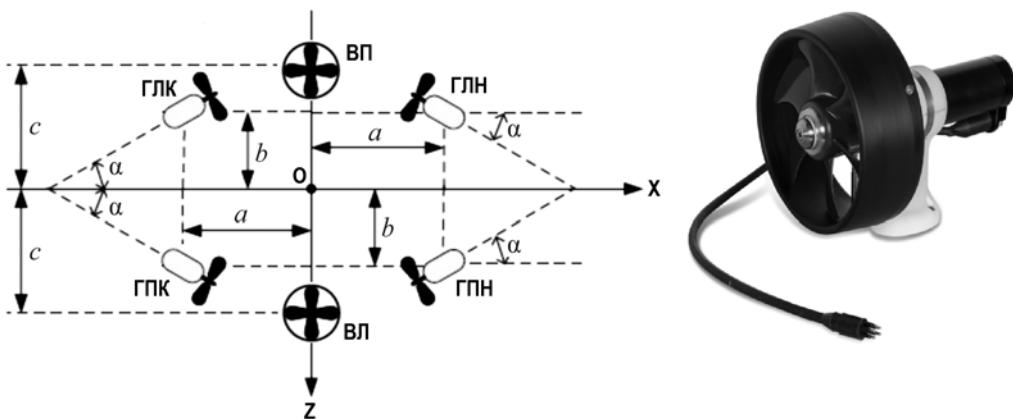


Рис. 2 – Компоновка движителей ДРК ТНПА «Марлин-350»;
 движитель ТНПА «Марлин-350»

Выражение (1) управляющих сил ДРК: F_x , F_y , F_z и управляющих моментов ДРК: M_x , M_y в системе координат OXYZ через упоры движителей $F_{\text{глк}}$, $F_{\text{гпн}}$, $F_{\text{глн}}$, $F_{\text{гпк}}$, $F_{\text{вл}}$, $F_{\text{вп}}$:

$$\begin{aligned}
 F_x &= (F_{\text{глк}} + F_{\text{гпн}} + F_{\text{глн}} + F_{\text{гпк}}) \cdot \cos\alpha, \\
 F_y &= F_{\text{вл}} + F_{\text{вп}}, \\
 F_z &= (F_{\text{гпк}} - F_{\text{глк}} + F_{\text{глн}} - F_{\text{гпн}}) \cdot \sin\alpha, \\
 M_x &= (F_{\text{вл}} - F_{\text{вп}}) \cdot c, \\
 M_y &= (F_{\text{гпк}} - F_{\text{глк}} + F_{\text{гпн}} - F_{\text{глн}}) \cdot L, \\
 L &= a \cdot \sin\alpha + b \cdot \cos\alpha,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где α – угол между продольной осью и осями маршевых движителей.

Параметры движительного комплекса приведены в таблице 2.

Табл. 2 – Параметры движительного комплекса ТНПА «Марлин-350»

Параметр	Значение
Наименование электродвигателя	Мотор-редуктор Maxon EC40+GP42C
Напряжение питания, В	48
Мощность потребления, Вт	260
Частота вращения вала, об/мин	900
Швартовый упор, кгс	7
Продольная тяга, кгс	23
Поперечная тяга, кгс	16
Интерфейс управления	RS485

Сравнительные характеристики типовых ТНПА приведены в таблице 3.

Табл. 3 – Сравнительные характеристики типовых ТНПА легкого класса

ТНПА	Масса, кг	Размеры Д×Ш×В, мм	Суммарный упор, кг			Размеры кабеля		Кол-во движителей N_r/N_b
			F_x	F_y	F_z	d , мм	q , кг/м	
Mojave	85.0	100×600×500	50.0	26.0	50.0	14.0	-0.01	4в/1
Макс-300	45.0	860×520×460	18.1	19.6	7.5	10.0	0.00	4в/4
СуперГномПро	35.0	980×400×200	16.0	9.8	10.0	11.0	0.00	4в/2
Марлин-350	60.0	980×540×400	23.0	14.0	16.0	11.6	0.00	4в/2

F_x , F_y , F_z – упоры по осям x , y , z ; d – диаметр кабеля; q – масса 1 м; N_r , N_b – число движителей.

Система управления аппаратом «Марлин-350»

Система управления ТНПА «Марлин-350» использует оптоволоконный канал, организована на интерфейсе RS-485 и представляет собой сеть, состоящую из исполнительных устройств (рисунок 3) (движители, светильники, привод наклонной платформы (рисунок 3б), манипулятор, навигационный модуль) и задающего устройства, размещенного в надводном модуле. Команда оператора с пульта управления адресуется соответствующему устройству. Формировать команды может задающее устройство, исполнительные устройства только передают сообщения о своем текущем состоянии. Надводный модуль содержит специальное программное обеспечение для контроля и управления подводным аппаратом. Вся электронная часть подводного аппарата располагается в герметичном корпусе и снабжена герморазъемами для подключения питающих и сигнальных кабелей. Каждое отдельное устройство имеет независимую систему защиты и контроля, а вся информация о состоянии основных узлов и устройств системы по каналам телеметрии поступает на системный монитор.

В состав надводного модуля ТНПА «Марлин-350» входят: 3 монитора, блок видеорегистрации, клавиатура, вычислительно-коммутационный блок, плата видеоналожения и сервиса, блок питания ТНПА, блок контроля изоляции, компьютер отображения гидроакустической информации, панель индикации и подключения.

Пульт ручного управления (ПРУ) позволяет обеспечивать движение ТНПА и включение различных потребителей.

Система технического зрения состоит из носовой (рисунок 3а) и кормовой аналоговых видеокамер, светодиодных светильников, гидролокатора кругового обзора Ehologger, звуковизора BlueView P900 (опция). Видеокамера имеет следующие параметры: матрица – 1/3 SONY, чувствительность – 0,01 лк, разрешение – 700 ТВЛ, фокусное расстояние объектива – 2,5, питание – 12 В. Дополнительно к камере на наклонную платформу можно установить: видеокамеру, лазерную линейку и звуковизор. Светодиодные светильники (рисунок 3в) представляют собой светодиодную матрицу с платой управления, размещенные в прочном корпусе с рассеивающим защитным иллюминатором. Угол рассеивания матрицы составляет 100 градусов. Регулировка яркости осуществляется по интерфейсу RS-485.

В навигационном блоке размещены датчик давления и датчик углов ориентации, совмещенный с датчиком магнитного поля (рисунок 3г). Данные о глубине, дифференте, крене и курсе выводятся на системный дисплей и используются для работы автоматических режимов автокурс и автоглубина.

Одноступенчатый манипулятор с трехзубым схватом (рисунок 3е) позволяет захватывать, удерживать и перемещать объекты.

Коммутационно-разветвительный блок обеспечивает соединение исполнительных устройств ТНПА и подключение дополнительного океанологического оборудования и датчиков (рисунок 3д).

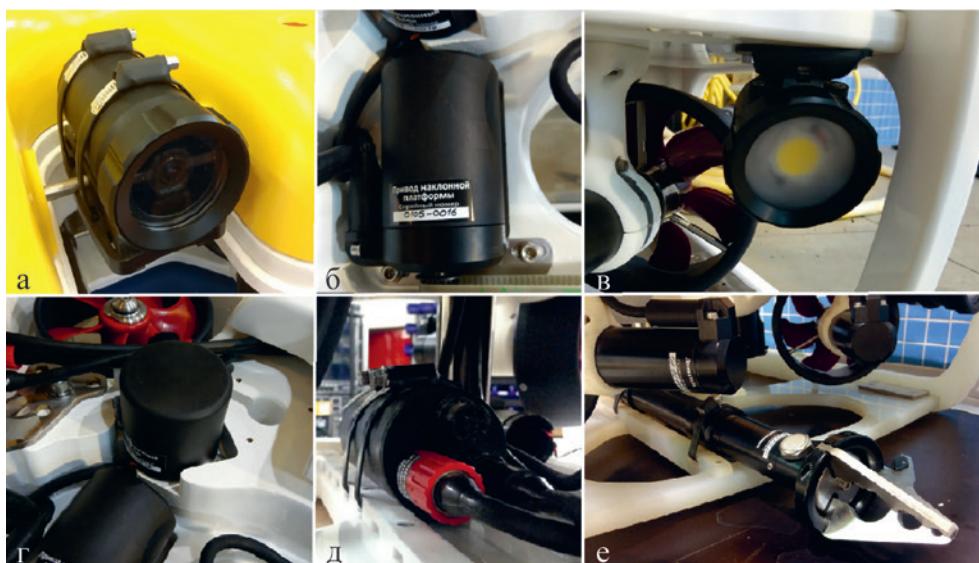


Рис. 3 – Элементы ТНПА «Марлин-350»: **а** – носовая видеокамера на наклонном устройстве; **б** – привод наклонной платформы; **в** – светильник; **г** – навигационный блок; **д** – коммутационно-разветвительный блок; **е** – манипулятор

Ручная кабельная лебедка (рисунок 4) представляет собой рамную конструкцию с барабаном для хранения кабеля и оптоэлектрическим вращающимся переходом, который позволяет передавать оптический сигнал и питание аппарата при вращении барабана. Лебедка подключается палубным кабелем к надводному модулю. Грузонесущий оптоэлектрический кабель ТНПА «Марлин-350» имеет следующие технические характеристики: рабочая нагрузка – 125 кг, разрывное усилие – 600 кг, диаметр кабеля – 11.6 мм, длина кабеля – 450 м, масса в воздухе – 104 кг/км, плавучесть кабеля в пресной воде – 1 кг/км, радиус изгиба – 140 мм, состав кабеля: 4 оптических волокна, 2 жилы питания, витая пара для обратной связи по питанию, жила для контроля изоляции. Поперечное сечение кабеля представлено на рисунке 4.

Использование грузонесущего кабеля нулевой плавучести и малого диаметра сводит к минимуму воздействие течений на связку аппарат – кабель. Для связи используется оптический канал, который гарантирует высокую скорость и качество передачи подводной информации от аппарата на судно-носитель и позволяет подключать дополнительные датчики для проведения научно-исследовательских работ.

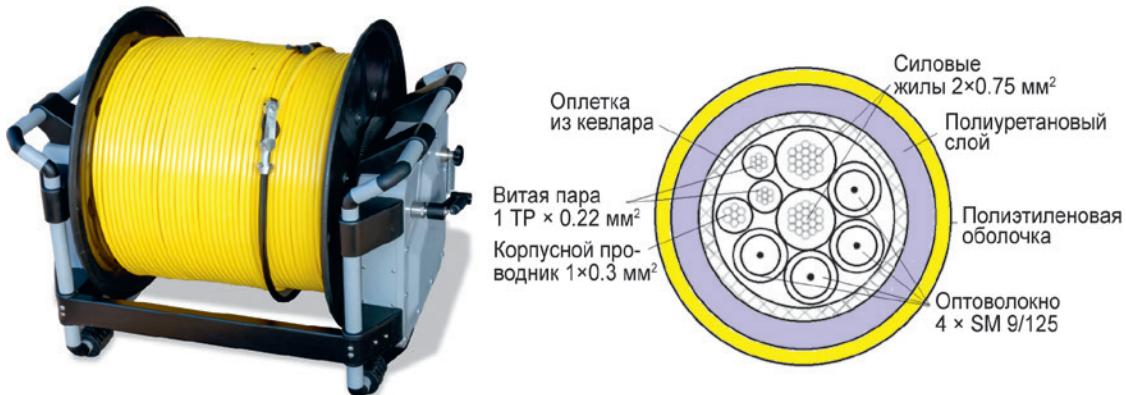


Рис. 4 – Ручная кабельная лебедка с кабелем 450 м; поперечное сечение кабеля

Блок питания ТНПА осуществляет преобразование сетевого переменного напряжения 220 В в постоянное напряжение 400 В, передаваемое на борт ТНПА.

Блок контроля изоляции проверяет сопротивление изоляции цепей постоянного тока и вырабатывает импульсное измерительное напряжение, отслеживая реакцию наличия утечек в системе питания. БКИ подключен в линии питания ТНПА на «плюс» и «минус» и на корпусной проводник, соединяющий прочные корпуса ТНПА, относительно которого происходит измерение. При затекании одного из устройств или повреждении кабеля ТНПА, загорится аварийный светодиод и сработают отключающие реле.

Бортовой распределительный блок выполняет функции преобразования и распределения сигналов и питания на исполняющие устройства аппарата (рисунок 5). Внутри прочного корпуса установлен бортовой блок питания, который преобразует входное напряжение (400 В) в бортовое (48 В и 12 В), оптоволоконный преобразователь и платы распределения с предохранителями.

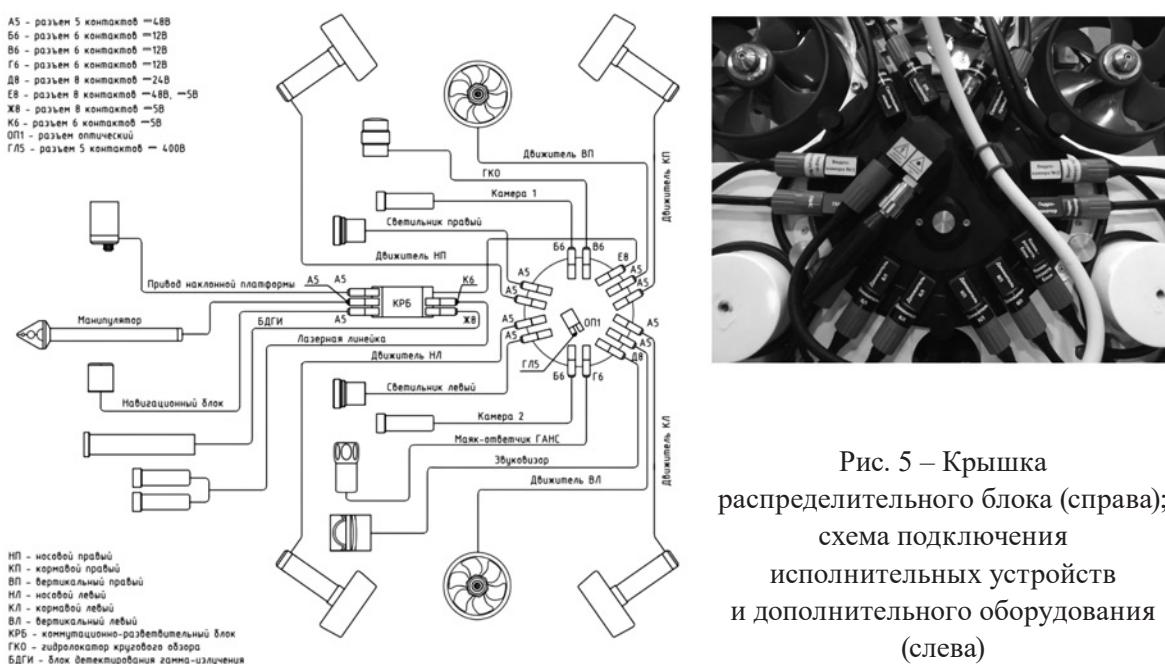


Рис. 5 – Крышка распределительного блока (справа); схема подключения дополнительных устройств и дополнительного оборудования (слева)

Испытания

Испытания ТНПА «Марлин-350» прошли в июле 2014 г. в Голубой бухте на глубине 350 метров. Государственные испытания проводились в два этапа: в бассейне на экспериментальной базе НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Ломоносов и в Голубой бухте, на борту НИС «Ашамба» (рисунок 6). Работа аппарата на глубинах 100, 200 и 350 м прошла без замечаний. 30 сентября 2015 г. приказом МО № 574 от 30 сентября 2015 г. ТНПА «Марлин-350» был принят на снабжение Вооруженных Сил Российской Федерации.



Рис. 6 – ТНПА «Марлин-350» во время испытаний

Оборудование для научно-исследовательских работ

Для удобства выполнения спуско-подъемных операций с борта научно-исследовательских судов на ТНПА вместо грузовой скобы было установлено захватное устройство. Для выполнения научно-исследовательских работ и отбора проб и образцов на аппарат была установлена дополнительная рама (скид) (рисунок 7) с пятиступенчатым манипулятором грузоподъемностью 20 кг и съемной сеткой.

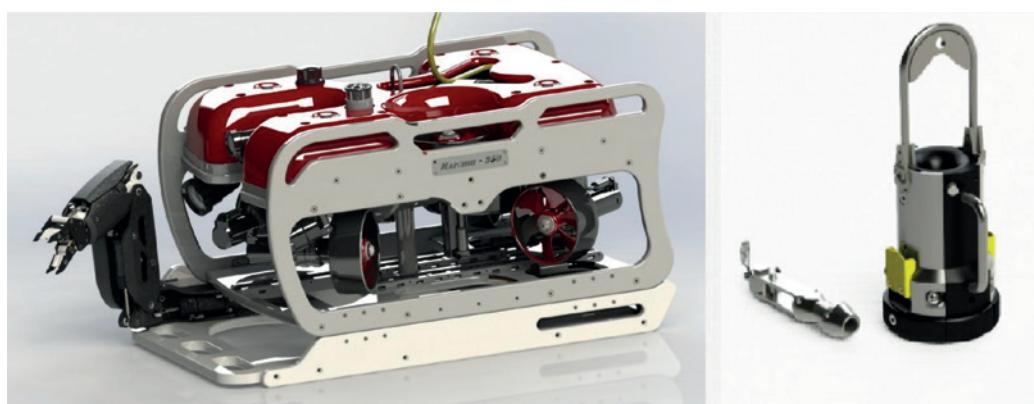


Рис. 7 – ТНПА «Марлин-350» со скидом и пятиступенным манипулятором (слева)
и захватное устройство (справа)

На рисунке 8 представлены рабочие зоны пятистепенного манипулятора.

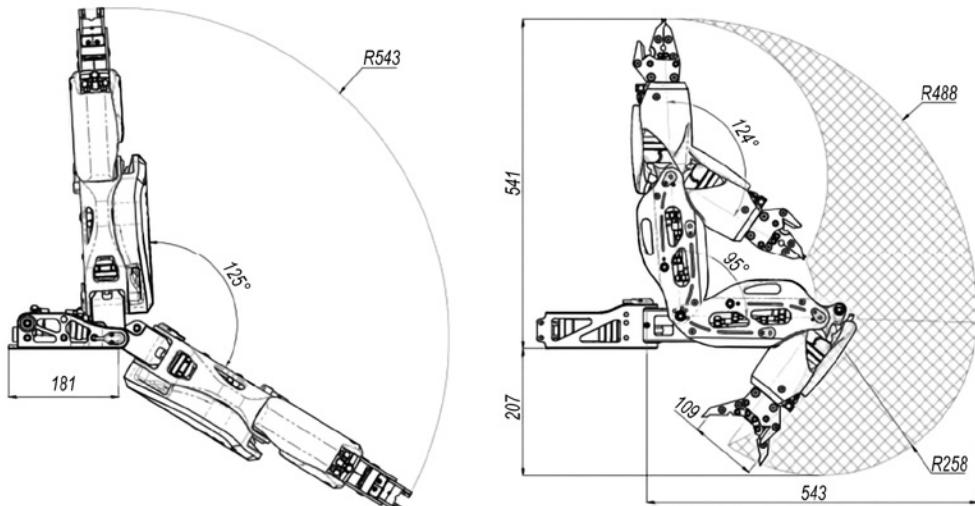


Рис. 8 – Рабочие зоны пятистепенного манипулятора

В период с 2015 по 2025 гг. было произведено 120 ТНПА «Марлин». ТНПА входит в состав оборудования спасательных буксиров СБ, пр. 22870 и противодиверсионных катеров «Граченок», пр. 21980. «Марлины» используют для выполнения широкого спектра подводно-технических и исследовательских работ, в том числе: подъем корабельных пушек XVIII века со дна Финского залива, обследование минного заградителя «Прут», исследование карстового Голубого озера в Кабардино-Балкарии (гл. 279 м), видеосъемка затонувшего «Челюскина» в экспедиции СФ и ЦПИ РГО на ледоколе «Илья Муромец».

Состав, ТТХ и конструкция «РТПА-1000»

В состав комплекса «РТПА-1000» (рисунок 9) входят: рабочий телеуправляемый подводный аппарат (РТПА), устройство глубоководного погружения (УГП), спуско-подъемное устройство (СПУ) с кабельной лебедкой, контейнер поста управления (КПУ), контейнер системы электропитания (КСЭП).

Пилот с борта судна-носителя дистанционно управляет подводным аппаратом и его манипуляторами, отправляя и получая телеметрические сигналы через грузонесущий кабель-трос и гибкий кабель-трос УГП. Движение РТПА может осуществляться при помощи автопилота с соблюдением точного курса и глубины. При пилотировании пилот осуществляет мониторинг при помощи телекамер, гидролокатора кругового обзора, датчиков (курс, глубина, альтитуда, крен/дифферент). Пост управления (ПУ) в КПУ включает в себя: компьютерную стойку контроля и управления, мониторную панель из шести цветных мониторов, кресла операторов и пульты ручного управления РТПА и манипуляторов, пульт дистанционного управления системы электропитания (СЭП). Надводная часть СЭП в КСЭП включает в себя: шкаф питания СЭП, 2 блока преобразователя СЭП ТНПК, комплект соединительных кабелей.

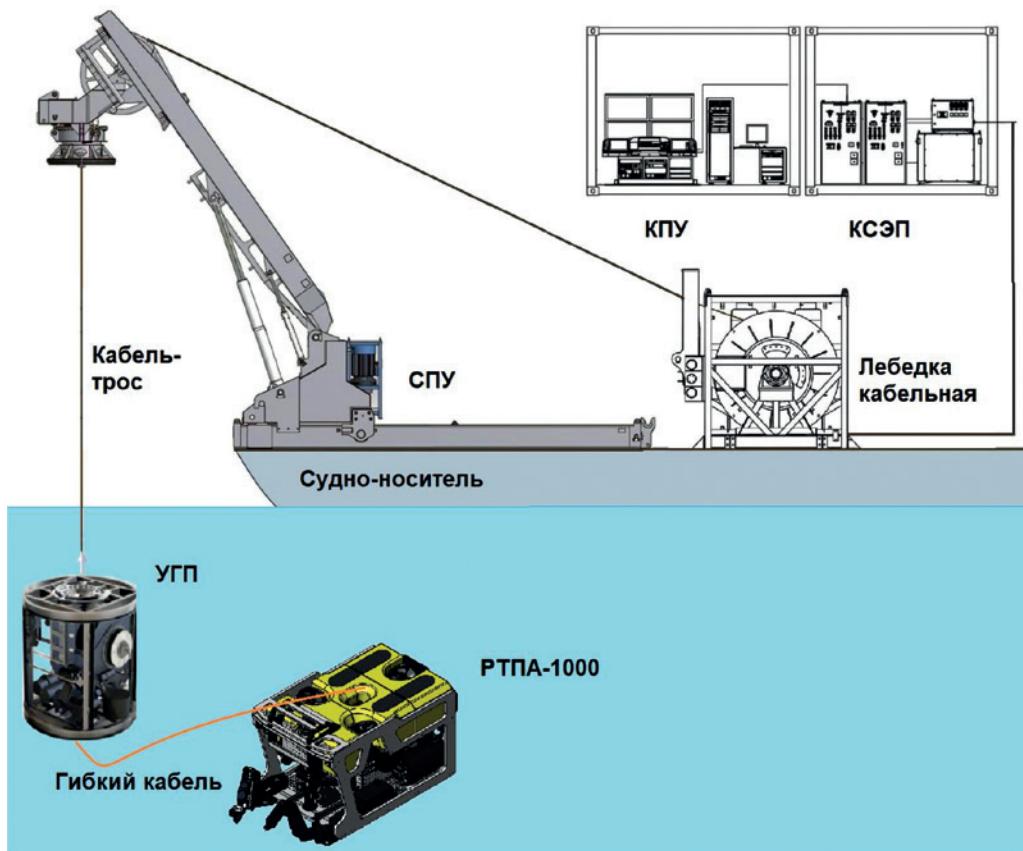


Рис. 9 – Состав комплекса «РТПА-1000»

Основные характеристики комплекса РТПА сведены в таблицу 4.

Табл. 4 – Тактико-технические характеристики комплекса «РТПА-1000»

Характеристика	Значение
Рабочая глубина погружения РТПА/УГП, м	1000
Масса, кг/габаритные размеры ДхШхВ, м:	
РТПА	1100/2.02×1.06×1.3
СПУ	20500/6×2.6×2.44
УГП	1200/Ø1.40×2.05
КПУ	4100/2.92×2.66×1.95
КСЭП	5150/2.92×2.66×1.95
Скорость движения маршем, м/с	1.5
Скорость вертикального движения, м/с	0.75
Угловая скорость, град/с	72
Точность автостабилизации: по курсу, град./по глубине, м	±1/±0.2
Длина кабеля РТПА, м	450
Длина кабеля груzonесущего, м	1100

Рабочий телеуправляемый подводный аппарат

РТПА имеет несущую раму из нержавеющей стали с использованием полипропилена повышенной прочности. Рама подводного аппарата имеет такелажный узел для фиксации аппарата на УГП при выполнении спускоподъемных операций. Конструкция рамы обеспечивает возможность установки дополнительного оборудования и инструмента. Для защиты систем аппарата от воздействия морской воды в качестве материала прочных корпусов используется нержавеющая сталь и алюминиевый сплав АМГ-6 с последующим глубоким анодированием изделия. Общий вид РТПА приведен на рисунке 10.

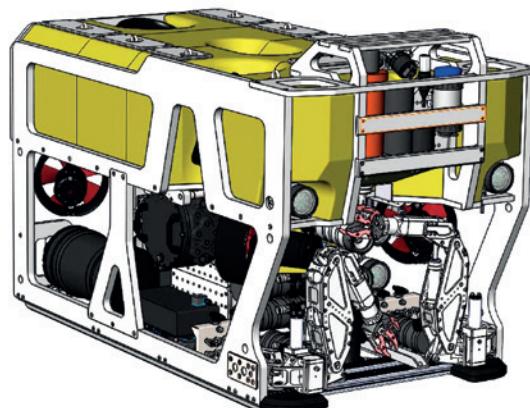


Рис. 10 – Рабочий телеуправляемый подводный аппарат

Для обеспечения нулевой плавучести РТПА на раме установлены блоки плавучести из синтактика плотностью 500 кг/м³. Балластные грузы, представляющие собой свинцовые пластины с отверстиями, предназначены для вывески РТПА с необходимой остаточной плавучестью без крена и дифферента.

Система электропитания комплекса «РТПА-1000», разработанная в НИИ АЭМ ТУСУР, состоит из надводной и подводной частей (рисунок 11).

Надводная часть СЭП обеспечивает на выходе трехфазное напряжение частотой 1000 Гц для подачи в кабель-трос, с линейным напряжением, не превышающим 2000 В. Технические характеристики системы питания приведены в таблице 5.

Табл. 5 – ТХ СЭП

Параметр	Значение
Напряжение электропитания, В	3×380, 50 Гц
Максимальная потребляемая мощность, кВт	75
Максимальная выходная мощность, кВт	47
Нестабильность выходного напряжения, %	±5
Напряжение на входе подводной части, В	1400
Частота напряжения в кабель-тросе, Гц	1000
Интерфейс связи	RS-485, Ethernet

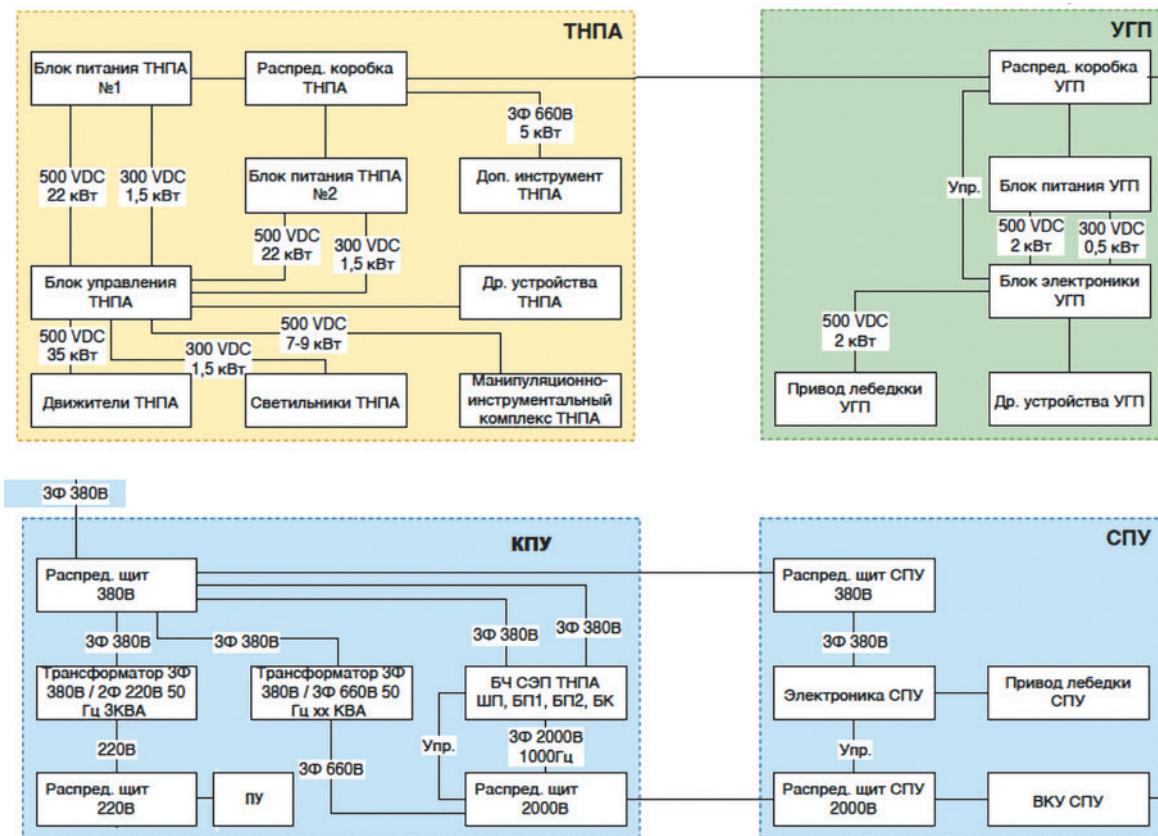


Рис. 11 – Схема распределения питания комплекса «РТПА-1000»

Подводная часть осуществляет преобразование трехфазного высоковольтного напряжения повышенной частоты, поступающего на вход РТПА и УГП, в напряжение постоянного тока 500 В и 300 В.

Грузонесущий кабель оптоэлектрический обеспечивает соединение между КСЭП/КПУ и УГП и служит для передачи электропитания и управляющих сигналов к УГП и РТПА, видео и телеметрической информации от РТПА к ПУ и имеет следующие технические характеристики: диаметр кабель-троса со стальной оплеткой – 32 мм, диаметр кабеля – 26 мм, разрывное усилие – 350 кН, максимальная рабочая нагрузка – 175 кН, минимальный радиус изгиба – 0.64 м, расчетная масса кабеля в воде – 2125 кг/км.

Гибкий кабель РТПА оптоэлектрический обеспечивает соединение между УГП и РТПА и служит для передачи электропитания и управляющих сигналов к РТПА, видео и телеметрической информации от РТПА к ПУ и имеет следующие технические характеристики: диаметр кабеля – 22 мм, разрывное усилие – 30 кН, вес кабеля в воде – не более 200 кг/км, минимальный радиус изгиба – не более 0.44 м. Сечение грузонесущего кабеля и гибкого кабеля РТПА представлены на рисунке 12.

Главный корпус РТПА представляет собой герметичный прочный корпус, изготовленный из высокопрочного анодированного алюминия, с размещенными внутри съемными печатными платами управления питанием (блоки коммутации и защиты

устройств до 48 В и до 500 В и блоки контроля статуса системы). В корпусах светильников и телекамер размещены платы управления и питания, платы светодиодов и телевизионных матриц (рисунок 13).

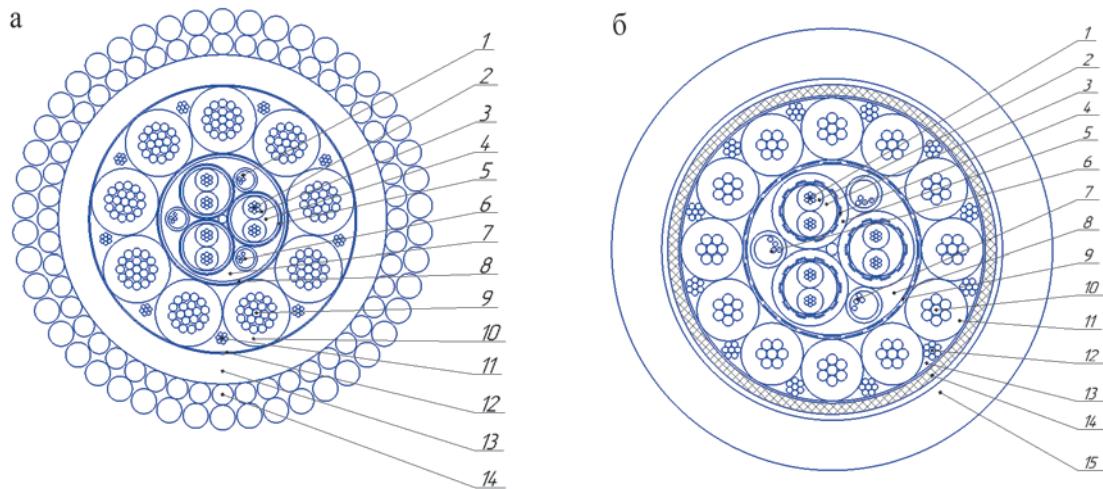


Рис. 12 – Сечение кабеля груzonесущего (а) и гибкого кабеля РТПА (б).

- а)** Кабель-трос: 1 – оптическая линия (одномодовое ОВ); 2 – ТПЖ витой пары (0.5 мм²); 3 – изоляция витой пары; 4 – оболочка-заполнитель витой пары; 5 – экран витой пары; 6 – оптическая линия (многомодовое ОВ); 7 – оболочка-заполнитель сердечника; 8 – экран сердечника; 9 – ТПЖ питания ТНПА; 10 – изоляция жилы ТНПА; 11 – ТПЖ контроля изоляции (0.5 мм²); 12 – заполнитель с обмоткой; 13 – наружная оболочка; 14 – груzonесущий элемент;
- б)** Кабель РТПА: 1 – ТПЖ витой пары (0.2 мм²); 2 – изоляция витой пары; 3 – оболочка-заполнитель витой пары; 4 – экран витой пары; 5 – оболочка витой пары; 6 – оптическая линия (одномодовое ОВ); 7 – оптическая линия (многомодовое ОВ); 8 – оболочка-заполнитель сердечника; 9 – экран сердечника; 10 – ТПЖ питание ТНПА; 11 – изоляция жилы ТНПА; 12 – ТПЖ контроля изоляции (0.5 мм²); 13 – заполнитель с обмоткой; 14 – груzonесущий элемент; 15 – наружная оболочка

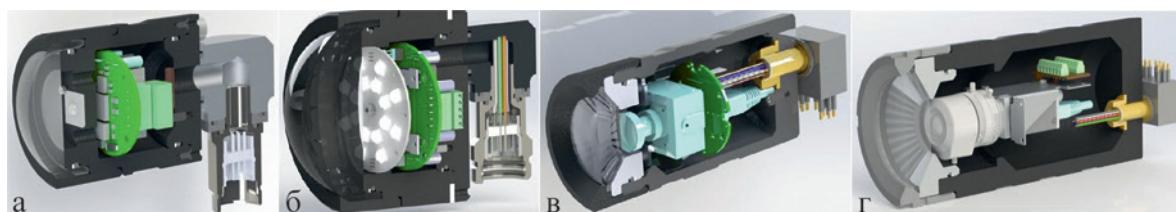


Рис. 13 – Два типа световых приборов (а, б) и два типа телекамер РТПА (в, г)

Блок навигации расположен в носовой части РТПА и имеет в своем составе датчики глубины, крена, дифферента, курса (магнитный компас) и датчик температуры забортной воды. РТПА приводится в движение при помощи семи электродвигателей на базе бесщеточных электродвигателей постоянного тока мощностью 5 кВт, напряжением питания 500 В, максимальным упором 90 кгс, весом в воде 7.8 кг в воде, управлением по RS-485. Четыре двигателя – для движения в

горизонтальном направлении и три – в вертикальном, обеспечивают полное трехмерное управление аппаратом при его движении под водой. Горизонтальные движители установлены на РТПА по векторной схеме, угол наклона относительно центральной оси составляет 35 градусов. Вертикальные движители имеют угол наклона с вертикалью 20 градусов. Внешний вид движителя XT5-K представлен на рисунке 14.

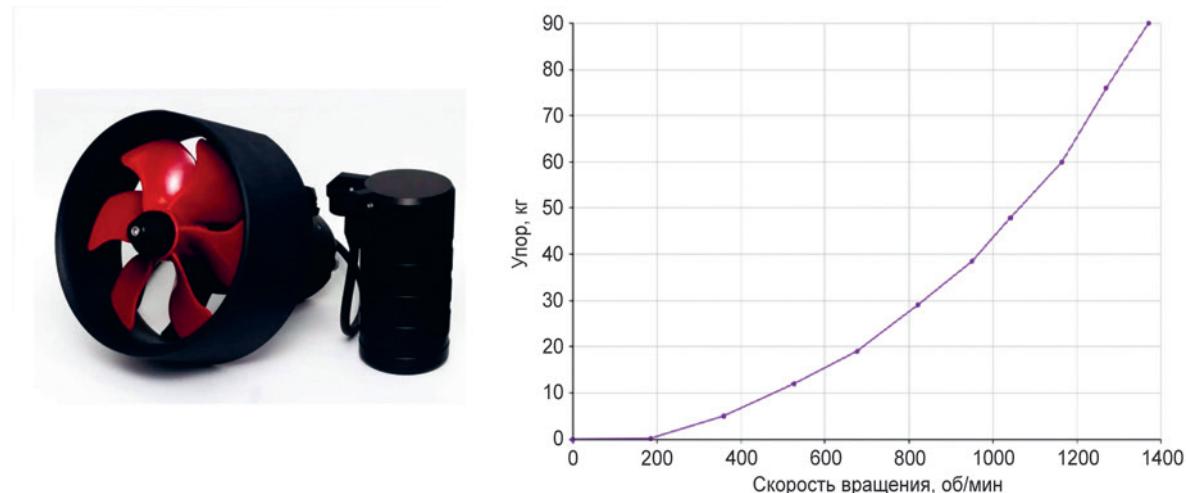


Рис. 14 – Движитель подводный XT5-K; замеры упора движителя в зависимости от скорости вращения, проведенные в бассейне

Схема движительного комплекса РТПА представлена на рисунке 15.

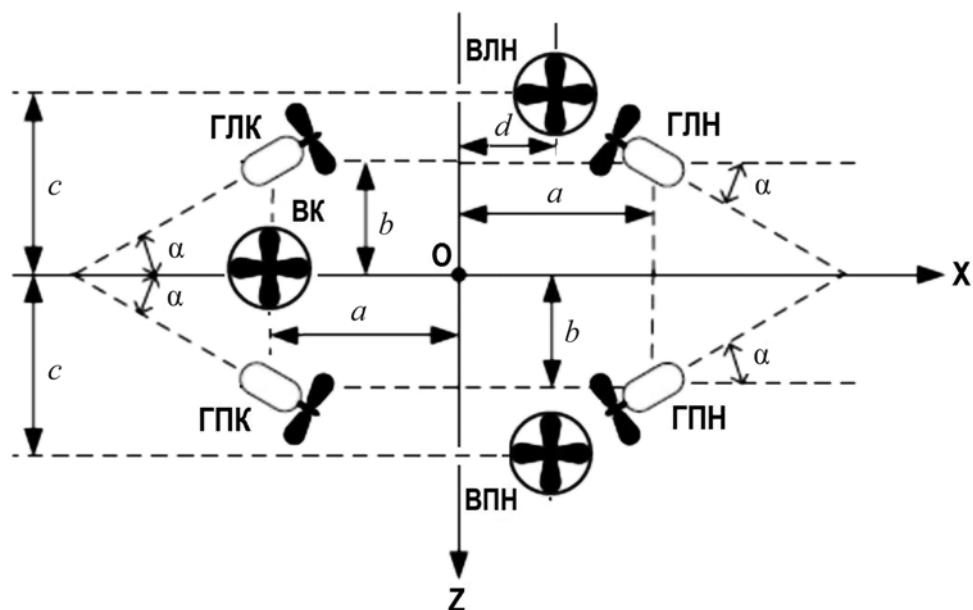


Рис. 15 – Компоновка движителей ДРК «РТПА-1000»

Расчетные упоры трех близких по мощности ТНПА рабочего класса приведены в таблице 6.

Табл. 6 – Сравнение расчетных упоров F_x , F_y , F_z ДРК трех ТНПА рабочего класса

Наименование движителей	SM5 Panther Plus	ДП4500 МСС-3000	ХТ-5К РТПА-1000
Маршевые движители, шт	8	4	4
Упор, кгс	38	90	90
Угол к продольной оси, град	35	35	30
Маршевый упор ТНПА, кгс	249	295	312
Лаговые движители, шт	8	4	4
Упор, кгс	38	90	90
Угол к продольной оси, град	55	55	60
Лаговый упор ТНПА, кгс	174	206	180
Вертикальные движители, шт	2	4	3
Упор, кгс	38	90	90
Угол к вертикальной оси, град	0	20	20
Вертикальный упор ТНПА, кгс	76	338	254

Из расчетных значений упоров видно, что «РТПА-1000» имеет преимущество по маршевому упору и уступает по вертикальному упору МСС-3000 из-за разницы в количестве вертикальных движителей.

Манипуляционный комплекс РТПА (рисунок 16) оснащен двумя манипуляторами. В систему гидравлики входят: два 6-степенных манипулятора ХМ-6, насосная станция, 2 блока клапанов. Насосная станция с электрическим приводом обеспечивает рабочее давление масла в гидравлической системе манипуляторного комплекса. Каждая из степеней манипуляторов управляет через соответствующий блок клапанов и приводится в движение за счет давления рабочей жидкости насосной станции. Гидрораспределитель состоит из двухходовых электромагнитных клапанов с регуляторами расхода на каждом из выходов. В состав системы входит компенсатор, обеспечивающий компенсацию воздействия внешнего давления и температуры внешней среды на гидравлическую систему.

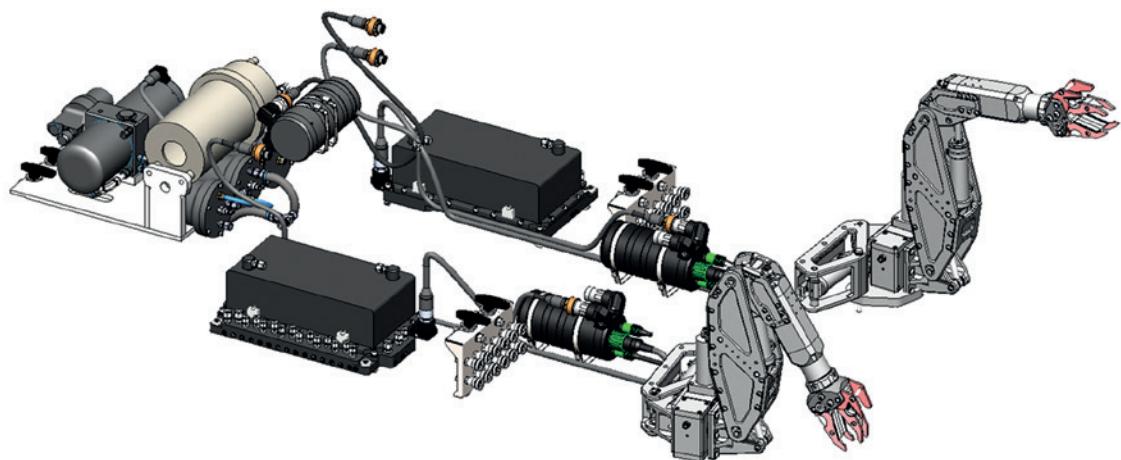


Рис. 16 – Общий вид манипуляторного комплекса «РТПА-1000»

Технические характеристики разных типов манипуляторов приведены в таблице 7.

Табл. 7 – Сравнение ТХ четырех типов манипуляторов

Наименование	Кол-во степеней	Высота, мм	Грузоподъемность, кг	Вес /вес в воде, кг
XM-6	6	477	40	21/16
HLK-HD6	6	515	40	29/21
Orion 7 (Schilling)	7	696	250	54/38
Orion 4 (Schilling)	4	682	136	30/21

В таблице 8 приведены технические характеристики пяти однотипных ТНПА легкого рабочего класса, имеющих электрические движители и устройства глубоководного погружения.

Табл. 8 – Сравнение ТХ пяти ТНПА легкого рабочего класса

Технические характеристики	Наименование ТНПА				
	Panther-XT Plus, Англия	Comanche, Шотландия	H 2000, Франция	Monew, Тайвань	РТПА-1000, Россия
Глубина, м	800	2000	2000	1000	1000
Д×Ш×В, м	2.14×1.06×1.2	2.1×1.3×1.25	2.0×1.4×1.15	2.1×1.3×1.2	2.02×1.06×1.3
Масса, кг	900	1130	800	800	1100
Скорость, узлы:					
маршевая	3.5	3.0	3.5	3.0	3.0
лаговая	2.2	2.5	2.2	2.0	2.5
вертикальная	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Упор, кгс:					
маршевый	340	225	240	250	400
лаговый	170	225	240	182	350
вертикальный	105	190	190	230	180
Мощность, кВт	37	35	30	30	47
Запас плавучести, кгс	150	185	80	60	200
Манипуляторы (кол-во степ.):					
левый	5	4	5	5	6
правый	7	7	7	7	6
Кабель-трос:					
длина, м	1000	2000	2000	1000	1100
диаметр, мм	36	32	30	34	32
Кабель ТНПА:					
длина, м	250	250	200	150	450
диаметр, мм	24	25	22	23.5	22

Сравним эксплуатационно-технические характеристики приведенных ТНПА (по аналогии с судами и подводными лодками) (таблица 9).

Табл. 9 – Сравнение эксплуатационно-технических характеристик ТНПА

ТНПА	Эксплуатационно-технические характеристики		
	Эв, кВт/т	Эг, кВт/м ³	Му, кВт с/т м
Panther-XT Plus	41	13.6	11.1
Comanche	31	10.3	10.3
H 2000	37.5	9.3	10.7
Monew	37.5	9.2	12.5
РТПА-1000	43	16.9	14.2

Эв – энерговооруженность ТНПА по водоизмещению (отношение суммарной мощности к водоизмещению), Эг – энерговооруженность ТНПА по грузоместимости (отношение суммарной мощности к объему ТНПА), Му – удельная мощность (отношение суммарной мощности к водоизмещению и скорости движения ТНПА). По всем трем вышеуказанным характеристикам РТПА-1000 имеет преимущество в сравнении с другими ТНПА.

Испытания

Государственные испытания проводились в два этапа: в бассейне на экспериментальной базе НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (г. Ломоносов), где проверялось качество работы всех систем аппарата, включая манипуляторы, осуществлялись замеры скорости его движения, и в г. Новороссийск, в сентябре 2022 г. на борту морского буксира 742 проекта, где в акватории Черного моря был осуществлен выход УГП с РТПА на глубину 1000 м (рисунок 17). Все системы РТПА работали без замечаний. Замечания возникли по работе СПУ и кабелеукладчика УГП. Замечания устранились во время проведения глубоководных испытаний.

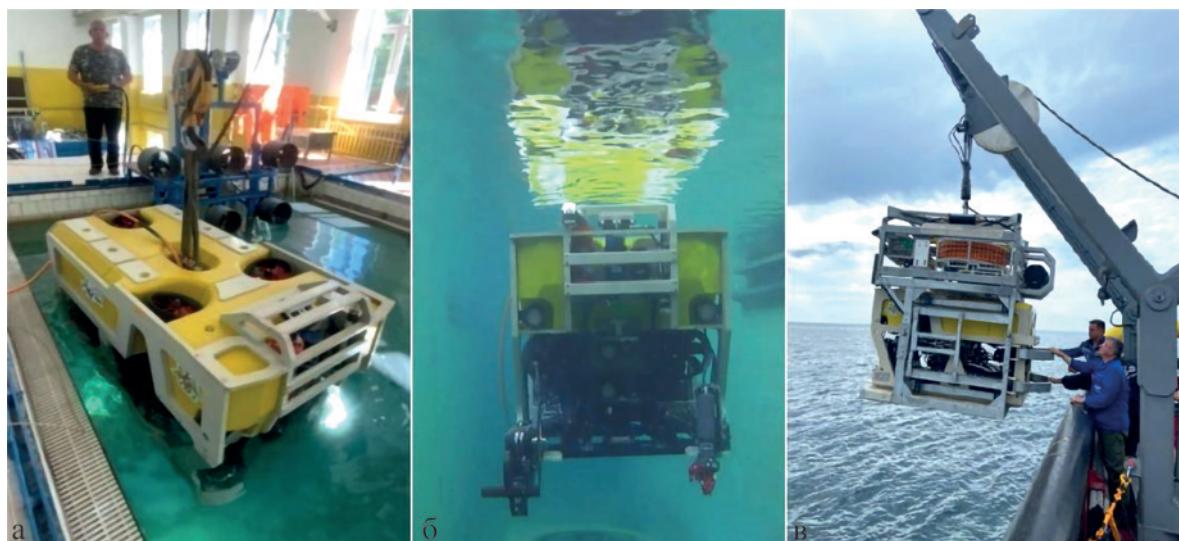


Рис. 17 – Испытания «РТПА-1000»: а, б – в г. Ломоносов; в – в г. Новороссийск

***Расчет гидродинамических сопротивлений
ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000»***

В заключении приведем сопоставление гидродинамических сопротивлений двух совершенно разных по своим параметрам телевизуемых аппаратов – ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000». Гидродинамическая сила сопротивления подводного аппарата складывается из двух составляющих: сопротивления формы и сопротивления трения. Силовые реакции от гидродинамического сопротивления кабеля, приложенные к аппарату, могут быть соизмеримы или превышать сопротивление корпуса аппарата. Полное сопротивление воды (сопротивление формы и сопротивление трения) движению аппарата без учета силовых реакций кабеля (сопротивление формы и сопротивления трения) определяется формулой:

$$Rx = Cx \cdot S \cdot \rho \cdot v^2/2,$$

где S – характерная площадь аппарата; ρ – плотность жидкости ($1025 \text{ кг}/\text{м}^3$); v – скорость движения аппарата; Cx – гидродинамический коэффициент полного сопротивления (Вельтищев, 2019).

На рисунке 18 представлены зависимости силы лобового сопротивления от скорости набегающего потока ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000».

$$v = \sqrt{2Rx / \rho Cx S}.$$

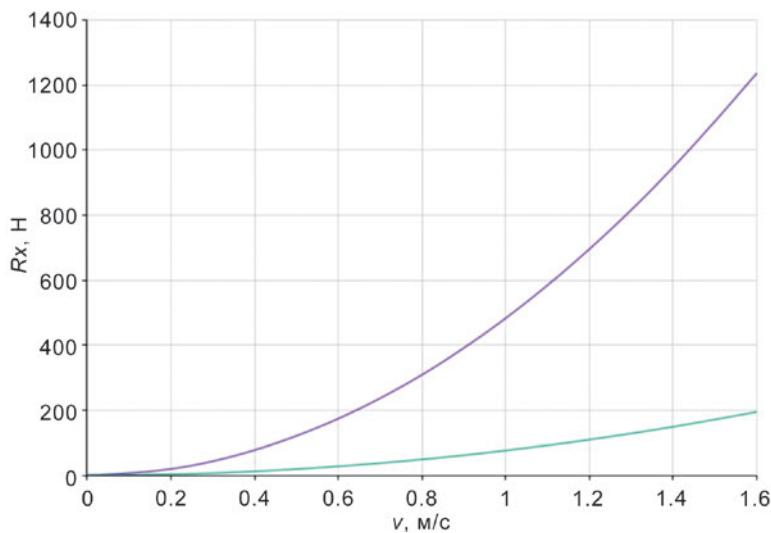


Рис. 18 – Зависимость силы лобового сопротивления Rx от скорости набегающего потока V
ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000»

Определение скорости всплытия РТПА в случае аварии

РТПА может работать в соленой и пресной воде, имеющей различную плотность. Для аварийного всплытия и режима посадки и работы у грунта аппарат должен обладать небольшой положительной плавучестью. Общий запас плавучести

(эффективный запас плавучести и положительная остаточная плавучесть) для морской воды с плотностью $1025 \text{ кг}/\text{м}^3$ для РТПА составляет 100 кгс . Величина остаточной плавучести находится в диапазоне от 10 до 20 кгс и должна быть минимальной для каждого типа воды, для того, чтобы не ухудшать ходовые качества аппарата и не увеличивать время погружения. Скорость всплытия аппарата зависит от сил, действующих на него: силы тяжести (F_t), архимедовой силы (F_a) и силы сопротивления движению (Ry) (Вельтищев, 2019).

$$Ry = Cx \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 / 2 = F_a - F_t;$$

$$F_a = \rho g V \text{ и } F_t = mg,$$

$$v = \sqrt{2g(\rho V - m) / CxS\rho}.$$

Считаем, что скорость всплытия – величина постоянная. В реальности аппарат начинает всплытие с ускорением, затем в малых значениях меняется плотность воды, увеличивается объем аппарата, ускорение всплытия стремится к нулю, включается сила трения о воду ($Ry = F_a - F_t$). На рисунке 19 представлена зависимость скорости аварийного всплытия с глубины 1000 м от остаточной плавучести при обрыве кабеля связи. Время всплытия с глубины 1000 м составит около двух часов при остаточной плавучести 20 кгс .

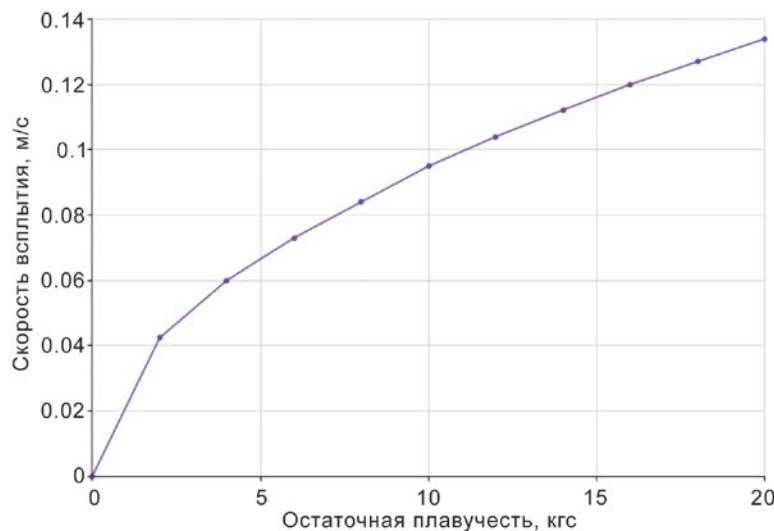


Рис. 19 – Зависимость скорости всплытия от значения остаточной плавучести

Научное оборудование для ТНПА

ТНПА, имеющий достаточный запас плавучести, дополнительные интерфейсы и небольшой запас по питанию, можно использовать в качестве базы для установки и подключения научного оборудования для отбора проб и сбора образцов, датчиков измерения параметров среды. Примером могут служить ОПА «Пайсис-7» и «Пайсис-11» из серии ОПА «Пайсис». Два «Пайсиса», оснащенные набором океанологического

оборудования, превратились в подводные научные лаборатории ИО РАН, с их помощью были проведены 16 успешных океанских экспедиций. Примером использования ТНПА рабочего класса для решения научно-исследовательских задач обследования подводных полигонов может служить ТНПА «Comanche 18» ННЦМБ ДВО РАН. Этот аппарат при движении под водой в условиях противодействия течений и обхода препятствий сложных рельефов способен выполнять профилирование (со скоростью около 0.2 м/сек), видео- и фотосъемку, съемку гидролокаторами, на «стопе» производить отбор проб воды, осадочных слоев грунта, образцов геологических пород, биологических образцов, получать количественную оценку продукционных характеристик массовых групп бентоса и планктона, производить замеры, постановку и снятие приборов (рисунок 20).

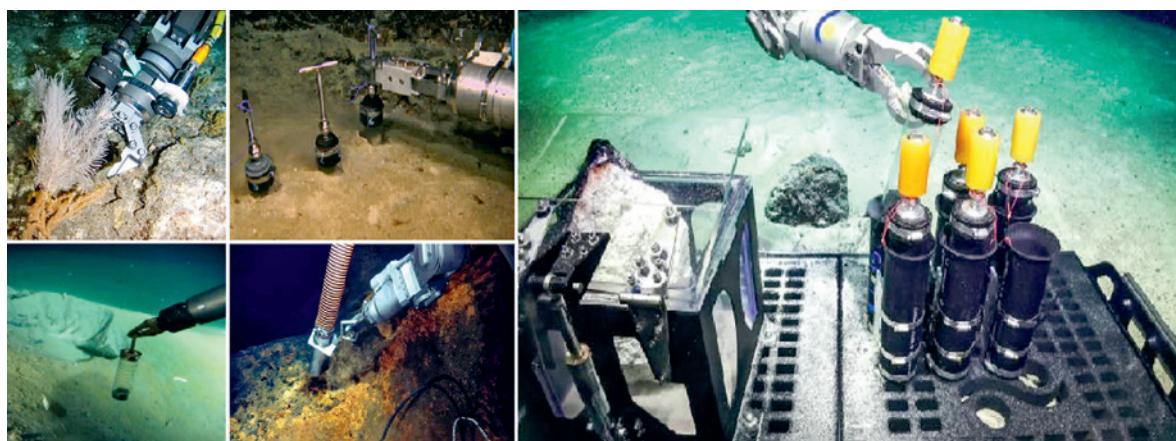


Рис. 20 – Отбор биологических и геологических образцов

На ТНПА можно установить до четырех батометров Niskin. Каждый батометр собирает герметичный образец воды объемом 5 л с глубины, на которой он был закрыт. Батометры запускаются дистанционно с помощью гидравлических приводов.

Применение ТНПА позволяет круглогодично обследовать большие площади донной поверхности на малых и больших глубинах, проводить исследования биоразнообразия вдоль протяженных трансект. Большинство морских организмов обитает в верхних слоях грунта и поверхностных отложениях – в бентической зоне. В пелагической и придонной толщах воды исследования ведутся не так интенсивно, как в бентической зоне. С помощью оборудования для отбора проб и сбора образцов, установленного на ТНПА, исследователи получают материалы для последующих после погружений судовых лабораторных работ. Из отобранных проб извлекают ДНК – широко используемый молекулярный метод идентификации организмов. Анализ ДНК позволяет идентифицировать полноразмерный спектр всех организмов, начиная с микробиома, заканчивая мегафауной. В толще воды проводятся также работы по оценке мутности, освещенности, содержания кислорода, pH. Очень значимой является задача точной навигационной првязки ТНПА во время проведения работ для формирования баз данных.

Технический прогресс привел к быстрому расширению применения подводных видеокамер для мониторинга морской среды. Существует широкий выбор HD-камер для установки на ТНПА, которые можно использовать в зависимости от целей и выбранного метода. Использование систем технического зрения, установленных на ТНПА, хорошо сочетается и дополняет традиционные методы отбора проб (таблица 10).

Табл. 10 – Применимость методов сбора информации при проведении морского мониторинга с помощью ТНПА

	Пробо-отборники	Батометры	Гидро-локаторы	Видеосистема
Места обитания с твердым дном	–	–	+	+
Места обитания с мягким дном	+	–	+	+
Пелагические места обитания	–	+	+	+
Классификация отложений	+	–	–	–
Твердые отложения	–	+	+	+
Мягкие отложения	+	+	+	+
Неровный рельеф	–	+	+	+
Бентическая зона	+	–	–	–
Придонная зона	–	+	+	+
Пелагическая зона	–	+	+	+
Горизонтальный охват	–	–	+	+
Вертикальный охват	–	+	+	+
Высокая мутность	+	+	+	–
Инфауна	+	–	–	–
Эпифауна	+	–	–	+
Пелагическая фауна	–	+	–	+
Микрофауна	+	+	–	–
Мезофауна	+	+	–	–
Макрофауна	+	+	–	+
Мегафауна	–	–	–	+
Зоопланктон	–	+	–	–
Фитопланктон	–	+	–	–
Макроводоросли	–	–	–	+
Таксономия	+	+	–	–
Расчетный размер	+	+	–	+
Количественная оценка	+	+	–	+

«+» – применимость, «–» – неприменимость.

Как видно из таблицы, видеокамеры могут предоставлять информацию, которую в ряде случаев обычные методы предоставить не могут. Технологическое совершенствование камер, объективов, источников света и лазеров будет способствовать дальнейшему развитию подводных исследований.

Для решения научно-исследовательских задач необходимо оснащение ТНПА различными датчиками с указанием методик их применения. Перечень необходимого оборудования и датчиков для размещения на ТНПА при выполнении научно-исследовательских работ представлен в таблице 11.

Табл. 11 – Перечень необходимого оборудования и датчиков

Перечень необходимого оборудования и датчиков для размещения на ТНПА	Кол-во, шт
1. Оборудование для отбора проб и сбора образцов:	
манипуляторы с 6-ю степенями свободы	2
батометры объемом 0.7 л	5
батометр 30 л	1
батометр из металла для взятия проб из горячих источников (0.5 л)	1
<i>пробоотборники:</i>	
трубки круглые с т-образной ручкой	5
трубки квадратные с т-образной ручкой	5
сачки с т-образной ручкой	2
ковши с т-образной ручкой	2
мини-бокскорер (дночерпатель)	1
щупы	2
керноотборник	1
выдвижная платформа с закрывающимся контейнером	1
сетка для сбора образцов	1
«слеп-ган» (slurp gun) с 6-тью стаканами для образцов, объемом 3 л	1
2. Видеосистема и ГАС (система технического зрения):	
видеокамеры высокой четкости носовые	2
видеокамера высокой четкости кормовая	1
видеокамера высокой чувствительности	1
наклонно-поворотные устройства (для видеокамер и светильников)	2
световые приборы светодиодные и LEP	6
световые приборы газоразрядные HID	2
лазерные излучатели, соосные с видеокамерой (лазерный масштаб)	4
фотокамера со вспышкой	1
гидролокатор кругового обзора	1
3D-звуковизор	1
акустический донный профилограф	1
альтиметр	1
доплер-лаг	1
3. Измерительные приборы с интерфейсами RS-232, RS-485, Ethernet:	
датчик измерения средних значений температуры (с точностью измерений – 0.01 °C)	1
датчик электрической проводимости (точность измерений 0.01 %о)	1

Продолжение таблицы 11

Перечень необходимого оборудования и датчиков для размещения на ТНПА	Кол-во, шт
датчик глубины (разрешающая способность, % FS – 0.01)	1
температурный зонд (0–450 °C) с длинным кабелем и Т-образной рукоятью	1
датчик скорости течения	1
датчик скорости звука в воде	1
датчик содержания растворенного кислорода (SBE 43)	1
датчик содержания метана (Hydro C; K-METS)	1
датчик уровня кислотности pH	1
флуорометр (Seapoint UV; WetLabs)	1
масс-спектрометр (Applied Microsystems)	1
магнитометр (Marine Magnetics)	1
спектрометр подводный (РЭМ-4Х, РЭМ-26М, ЭКО-10)	1
гидроакустическая система позиционирования USBL, LBL, сопряженная с системой ГЛОНАСС/GPS-навигации (СПиН-УКБ, ПО LANAS, АО «Латена»)	1

Представленный перечень далеко не полный; набор датчиков определяется задачами исследований в каждом отдельном случае.

Заключение

Разработанные ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000» прошли комплексные испытания и в настоящее время производятся серийно.

В числе подводных исследовательских работ ТНПА «Марлин-350» – помочь водолазам при подъеме четырех корабельных орудий XVIII века в Финском заливе, обследование самого глубокого Голубого озера, минного заградителя «Прут» в Черном море и парохода «Челюскин» в Чукотском море.

В конструкцию разработанных ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000» заложена возможность дооснащения аппаратов дополнительными датчиками и научно-исследовательским оборудованием (комплекты для отбора проб и сбора образцов, измерительные приборы, видео и гидроакустическое оборудование).

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026). Автор выражает свою благодарность специалистам АО «Тетис Про», «Гидробот», НИИ АЭМ ТУСУР, принявшим участие в разработке ТНПА «Марлин-350» и «РТПА-1000».

Список литературы

1. Анисимов И. М., Залота А. К., Лесин А. В., Муравья В. О. Особенности исследования биологических и техногенных объектов с использованием глубоководных буксируемых аппаратов // Океанология. 2023. Т. 63. № 5. С. 840–852.
2. Вельтищев В. В. Проектирование движительных комплексов подводных аппаратов. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. 167 с.
3. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. Москва: Моркнига, 2012. 506 с.
4. Войтов Д. В. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Марлин-350». В сб.: Освоение морских глубин. М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2018. С. 327–331.
5. Патент на полезную модель № 130292 Российской Федерации, МПК B63C 11/49 (2006.01). Комплекс телеуправляемого необитаемого подводного аппарата: № 2012138113/11: заявл. 06.09.2012 : опубл. 20.07.2013 / Войтов Д. В., Гарбузов Д. В., Кайфаджян А. А., Кравцов Н. В. : заявитель ОАО «Тетис Про». – 22 с. : ил.
6. Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Анисимов И. М., Лесин А. В., Муравья В. О. Результаты наблюдений ледового воздействия на объекты, затопленные в Карском море // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. Т. 23. № 10. С. 31–37. <https://doi.org/10.17513/mjpfi.13582>.
7. Mazzeo A., Aguzzi Ja., Calisti M., Canese S., Vecchi F., Stefanni S., Controzzi M. Marine robotics for deep-sea specimen collection: a systematic review of underwater grippers // Sensors. 2022. Vol. 22. No. 2. P. 648.
8. Mirmalek Z., Raineault N. A. Remote science at sea with remotely operated vehicles // Frontiers in Robotics and AI. 2024. Vol. 11.
9. Mohanty R., Patnaik S., Kumar Behera R., Kumar Sahoo A., Kumar Muduli R., Kumar Pradhan S., Sarangi M. A novel technique for modelling of an underwater robotic vehicle // Materials Today: Proceedings. 2023. Vol. 80. P. 202–206.
10. Ramadass G. A., Ramesh S., Vedachalam N., Subramanian A. N., Sathianarayanan D., Ramesh R., Harikrishnan G., Chowdhury T., Jyothi V. B. N., Pranesh S. B., Prakash V. D., Atmanand M. A. Unmanned underwater vehicles: design considerations and outcome of scientific expeditions // Current Science (India). 2020. Vol. 118. No. 11. P. 1681–1686.
11. Syahab H., Ariesta R. C., Misbah M. N., Zubaydi A., Sujatanti S. H., Putra W. H. A., Setyawan D. Structural design evaluation for underwater remotely operated vehicle (rov), case study: madura straits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1198. No. 1. P. 012007.
12. Tran N. H., Nguyen T. N. Study on design and combined adaptive control for a remotely operated vehicle (viam-rov900) // Applied Mechanics and Materials. 2020. Vol. 902. P. 13–22.

Статья поступила в редакцию 09.04.2025, одобрена к печати 29.06.2025.

Для цитирования: Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты российской разработки для океанологических исследований // Океанологические исследования. 2025. Т. 53. № 3. С. 124–149. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(3\).7](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(3).7).

REMOTE OPERATION VEHICLES OF RUSSIAN DESIGN FOR OCEANOLOGICAL RESEARCH

D. V. Voitov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: voitov2008@yandex.ru*

This article presents materials on the development, production, composition and design features of the serial Russian ROV “Marlin-350” and “WROV-1000”. These vehicles can effectively perform complex underwater work at depths of 350 and 1000 meters. Modern remotely operated vehicles (ROV), equipped with instruments, sonar systems, oceanological instruments: sensors and biological and geological samplers, they are necessary complex instruments for conducting scientific research in the ocean.

Keywords: remotely operated vehicle, ROV Marlin-350, WROV-1000, underwater reaserch

Acknowledgments: The study was carried out within the state task of IO RAS (No. FMWE-2024-0026). The author expresses his gratitude to the specialists of JSC “Tetis Pro”, “Gidrobot”, and the Research Institute of AEM TUSUR, who took part in the development of the “Marlin-350” and “RTPA-1000 ROVs”.

References

1. Anisimov, I. M., A. K. Zalota, A. V. Lesin, and V. O. Muravya, 2023: Osobennosti issledovaniya biologicheskikh i tekhnogennykh obyektorov s ispolzovaniyem glubokovodnykh buksiruyemykh apparatov. *Oceanology*, **63** (5), 840–852, <https://doi.org/10.31857/S0030157423050027>.
2. Mazzeo, A., Ja. Aguzzi, M. Calisti, S. Canese, F. Vecchi, S. Stefanni, and M. Controzzi, 2022: Marine robotics for deep-sea specimen collection: a systematic review of underwater grippers. *Sensors*, **22** (2), 648.
3. Mirmalek, Z. and N. A. Raineault, 2024: *Remote science at sea with remotely operated vehicles. Frontiers in Robotics and AI*. Vol. 11.
4. Mohanty, R., S. Patnaik, R. Kumar Behera, A. Kumar Sahoo, R. Kumar Muduli, S. Kumar Pradhan, and M. Sarangi, 2023: A novel technique for modelling of an underwater robotic vehicle. *Materials Today: Proceedings*, **80**, 202–206.
5. Patent na poleznuyu model' No. 130292 Rossijskaya Federaciya, MPK V63S 11/49 (2006.01). Kompleks teleupravlyayemogo neobitaemogo podvodnogo apparata: № 2012138113/11: zayavl. 06.09.2012 : opubl. 20.07.2013 / Vojtov D. V., Garbuzov D. V., Kajfadzhyan A. A., Kravcov N. V.: zayavitel' OAO «Tetis Pro». 22 p.: il.
6. Ramadas, G. A., S. Ramesh, N. Vedachalam, A. N. Subramanian, D. Sathianarayanan, R. Ramesh, G. Harikrishnan, T. Chowdhury, V. B. N. Jyothi, S. B. Pranesh, V. D. Prakash, and M. A. Atmanand, 2020: Unmanned underwater vehicles: design considerations and outcome of scientific expeditions. *Current Science (India)*, **118** (11), 1681–1686.
7. Rimsky-Korsakov, N. A., A. A. Pronin, A. Yu. Kazenov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, A. V. Lesin, and V. O. Muravya, 2023: Rezul'taty nablyudeniy ledovogo vozdeystviya na

- obyecty, zatoplennye v Karskom more (Observation of ice impact results on flooded objects at Kara Sea). *Mezhdunarodnoyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, **23** (10), 31–37, <https://doi.org/10.17513/mjpf.13582>.
8. Syahab, H., R. C. Ariesta, M. N. Misbah, A. Zubaydi, S. H. Sujiatanti, W. H. A. Putra, and D. Setyawan, 2023: *Structural design evaluation for underwater remotely operated vehicle (rov), case study: madura straits*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **1198** (1), 012007.
 9. Tran, N. H. and T. N. Nguyen, 2020: Study on design and combined adaptive control for a remotely operated vehicle (viam-rov900). *Applied Mechanics and Materials*, **902**, 13–22.
 10. Veltischev, V. V., 2019: *Proyektirovaniye dvizhitelnykh kompleksov podvodnykh apparatov*. Moscow, Izdatelstvo MGTU im. N. E. Baumana, 167 p.
 11. Voitov, D. V., 2012: *Teleupravlyaemye neobitaemye podvodnye apparaty (Remotely controlled uninhabited underwater vehicles)*, Moscow, MORKNIGA, 504 p.
 12. Voitov, D. V., 2018: Teleupravlyaemyi neobitaemyi podvodnyi apparat “Marlin-350” (Remote-controlled uninhabited underwater vehicle “Marlin-350”) v Sb.: *Osvoyeniye morskikh glubin*, Moscow, Izd. dom “Oruzhiye i tekhnologii”, 327–331.

Submitted 09.04.2025, accepted 29.06.2025.

For citation: Voitov, D. V., 2025: Remote operation vehicles of Russian design for oceanological research. *Journal of Oceanological Research*, **53** (3), 124–149, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(3\).7](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(3).7).