

УДК 629.58:681.5

**Е.С. Лазарев****ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ  
НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ\***

*Рассматриваются роботизированные океанографические необитаемые подводные аппараты двойного назначения. Автором представлены основные задачи по проектированию и созданию океанографических необитаемых подводных аппаратов, также проанализированы проблемы разработки и создания необитаемых подводных аппаратов. В работе предложены требования к основным характеристикам и аппаратуре необитаемых подводных аппаратов и основные направления их развития.*

*Океанографические необитаемые подводные аппараты; автономные необитаемые подводные аппараты; буксируемые необитаемые подводные аппараты; привязные необитаемые подводные аппараты; океанография; системы автоматизированного проектирования; гидродинамическое сопротивление.*

**E.S. Lazarev****WAYS OF THE IMPROVEMENT OKEANOGRAFICHESKIH UNINHABITED  
UNDERSEA DEVICE**

*In article are considered robotized okeanograficheskie uninhabited undersea devices double-purpose. The Author are considered primary tasks on designing and creation okeanograficheskikh uninhabited undersea device, is in the same way analysed problems of the development and creation uninhabited undersea device. Requirements are presented In work to the main feature and equipment autonomous uninhabited undersea device and main trends of the development okeanograficheskikh uninhabited undersea device.*

*Okeanograficheskie uninhabited undersea devices; autonomous uninhabited undersea devices; towed uninhabited undersea devices, fastened uninhabited undersea devices; systems computer aided design; element of the load; gidrodinamicheskoe resistance.*

**Введение.** В настоящее время необитаемые подводные аппараты являются одним из перспективных направлений развития робототехники. Как системная область оно неразрывно связано с развитием микроэлектронных технологий. Отставание по данному направлению развития может привести к катастрофическим последствиям – как экономического, так и оборонного плана.

Океанотехника, связанная с созданием океанографических необитаемых подводных аппаратов (ОНПА), – интенсивно развивающаяся перспективная область развития робототехники, в основе которой существуют определенные технические традиции и наработки, общие тенденции и нерешенные проблемы.

Необитаемые подводные аппараты (НПА), представляющие собой особый вид морской техники, в последние два-три десятилетия получили широкое распространение не только в гражданских областях (исследования океана, обслуживание нефтегазовых промыслов), но и в военном деле. Первоначально они нашли применение в качестве противоминных средств надводных кораблей и средств спасения экипажей аварийных подводных лодок, в перспективе их предполагается использовать в качестве разведывательных и боевых средств.

В создании и использовании НПА, несмотря на сложившиеся общие подходы и технологии, пока нет законченной обоснованной теории, а также и общей практики решения различных задач.

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-15.2010.10.

Мировой опыт в этом отношении довольно разнообразен, и в настоящее время в распоряжении специалистов имеется немало возможностей для обмена информацией по различным вопросам проектирования, разработки и эксплуатации аппаратов всех типов.

Проектирование ОНПА является сложнейшей многоплановой задачей, так как:

- ◆ ОНПА функционируют в специфической малоизученной среде;
- ◆ используемые в ОНПА датчики в силу особенностей водной среды обладают меньшей точностью, быстродействием, разрешающей способностью, чем датчики для наземных, воздушных и космических роботизированных систем;
- ◆ для водной среды характерна трудно предсказуемая изменчивость и неоднородность (температура, соленость, слой скачка скорости звука, звукорассеивающие слои, рефракция, реверберация, течения, волнение моря и т.д.), что создает значительные трудности в управлении, связи, измерениях;
- ◆ существенная продолжительность рабочего цикла ОНПА порождает много проблем, связанных с возможностью сбоев, отказов в работе аппаратуры управления и связи.

Все это требует серьезного подхода к проектированию ОНПА, широкого использования достижений науки и техники в различных областях.

В любом ОНПА можно выделить три основные функциональные подсистемы:

- ◆ ходовую, реализующую функцию движения;
- ◆ информационно-управляющую, реализующую функции восприятия и хранения целевой задачи, а также информационного обмена, стабилизации нормализуемых параметров, выработку и исполнение управляющих сигналов, формирующих поведение аппарата, и, наконец, принятие решений в системах с элементами искусственного интеллекта;
- ◆ полезную (навигационную и научно-исследовательскую) нагрузку.

Также для проектирования ОНПА могут использоваться системы автоматизированного проектирования (САПР).

В соответствии с методологией системного подхода, принятой в САПР, НПА рассматривается как сложная система, состоящая из подсистем более низкого уровня. В свою очередь, любая подсистема НПА может содержать типовые функциональные модули, по отношению к которым компонентами более низкого уровня являются антенны, приборы, датчики и так далее. Все функциональные модули, приборы и конструкции НПА являются элементами нагрузки и делятся на ряд функциональных комплексов.

Элемент нагрузки (ЭН) – это ключевой элемент в структуре САПР НПА. Множество всех ЭН отразит конечный базис САПР, из которого формируется проект НПА заданного функционального назначения.

Проведение исследования всей номенклатуры ЭН как законченных изделий позволяет выделить общие проектные параметры, полностью описывающие сами ЭН, их место и расположение (вертикальное, горизонтальное и продольное) внутри аппарата. Массогабаритные характеристики НПА определяются массой объемом и формой, входящих в него ЭН.

Главная задача при этом – выбор ограниченного ряда типоразмеров ОНПА модульной конструкции с легко реконфигурируемым под конкретную работу составом полезной нагрузки.

Одной из главных задач при проектировании ОНПА является выбор материала конструкции и формы корпуса, обеспечивающий низкое гидродинамическое сопротивление. Однако в некоторых случаях форма корпуса определяется в большей степени необходимостью размещения исследовательской аппаратуры, чем требованием снизить гидродинамическое сопротивление. Также при проектировании ОНПА следует учитывать, что их основные характеристики тесно связаны между собой.

Анализ научно-технической информации по проблемам разработки и создания АНПА показывает, что для их разработки наиболее часто применяется продольно-модульный принцип конструкции и широко используются технологии, применяемые при создании торпедного оружия [1]. В процессе их проектирования целесообразно использовать следующие достижения и наработки торпедостроения:

- ◆ наработки по вопросам прочности корпуса конструкции торпед;
- ◆ наработки по методикам их испытаний;
- ◆ конструкции отдельных элементов корпусных узлов таких, как клинцанговые соединения отсеков, методы крепления и герметизации гидроакустических антенн, методы крепления полезной нагрузки внутри отсеков;
- ◆ существующий задел по созданию электрических энергосиловых устройств;
- ◆ наработки по созданию надежных исполнительных механизмов;
- ◆ наработки по расчетам динамики и управляемости торпед;
- ◆ существующий задел по созданию рулевых устройств (электрических, гидравлических, пневматических), повышающих ресурсы до нескольких сотен (тысяч) часов;
- ◆ наработки по повышению коррозионной стойкости корпусов и деталей, соприкасающихся с морской водой;
- ◆ технологии создания гидроакустических преобразователей и антенн подводного оружия;
- ◆ наработки по снижению гидродинамического сопротивления и управления пограничным слоем (отсос, полимерные добавки и движения в условиях развитой кавитации);
- ◆ наработки по расчету и технологии изготовления гребных винтов;
- ◆ наработки по надежному и безопасному самовыходу торпед из пусковых устройств;
- ◆ наработки по созданию боевых информационно-управляющих систем;
- ◆ наработки ввода данных в торпеды;
- ◆ методы испытаний торпед в лабораториях и на полигонах.

Многие из этих наработок могут быть использованы и при создании привязных необитаемых подводных аппаратов (ПНПА) и буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА).

Основными достоинствами БНПА являются: длительный срок работы под водой, надежность, возможность получать информацию в реальном времени. Как видно из приведенного в табл. 1 возможного прогноза ввода в эксплуатацию ОНПА ГС ВМФ на период до 2025 г., предполагается два вида БНПА [1]:

- ◆ привязной (телеуправляемый) аппарат, который может передвигаться как в режиме буксировки, так и за счет своих двигателей;
- ◆ пассивно буксируемый аппарат.

Таблица 1

**Прогноз возможного ввода в эксплуатацию ОНПА гидрографической службы  
ВМФ на период прогнозирования до 2025 г.**

Наименование ОНПА	Сроки ввода в эксплуатацию															Примечание	
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025		
ПНПА малого класса																Эксплуатация	
БНПА																Эксплуатация	
Малый АНПА																Эксплуатация	
Средний АНПА																Эксплуатация	
Большой АНПА																Эксплуатация	
АНПА на солнечных батареях																Эксплуатация	Эксплуатация экспериментального образца
ПНПА малого класса типа «Tiger»	X															Эксплуатация	Стоимость образца \$15000 (США)

Условные обозначения:

**X** – закупка иностранного образца.

*ПНПА* малого класса должен эксплуатироваться с большим гидрографическим катером и гидрографическим судном (ГИСУ) всех проектов и иметь следующие характеристики и аппаратуру:

- ◆ глубина погружения – до 500 м;
- ◆ скорость хода:
  - по горизонтали – 4 узла, по вертикали – 1,5 узла, лаговая – 1,5 узла;
  - перемещаться относительно СН – в радиусе – 500 м;
  - масса – не более 100 кг;
  - время непрерывной работы – не менее 48 ч.

Навигационная и научно-исследовательская аппаратура:

- ◆ компас;
- ◆ лаг;
- ◆ глубиномер;
- ◆ цветная телевизионная камера;
- ◆ эхолот (двухчастотный, для определения глубины под аппаратом и типа поверхностного грунта);
- ◆ высокочастотный ГБО – частота более 600 кГц;
- ◆ ГСО – ориентированный по курсу;

- ◆ маяк-запросчик;
- ◆ гравиметр.

**Примечание:** гравиметр, гидролокатор бокового обзора (ГБО) и гидролокатор секторного обзора (ГСО) выполнены в сменных блоках и являются элементами сменной аппаратуры.

Судовой управляюще-вычислительный комплекс строится на базе персонального компьютера и включает в себя: блок управления движением ПНПА, цветной телевизионный монитор и видеоманитофон, блок уплотнения и документирования данных.

Кроме того, в состав комплекса ПНПА входит гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой (ГАНС УКБ) и вьюшки грузонесущих кабеля связи с аппаратом и кабеля связи с погружным модулем ГАНС. Кабель-трос аппарата – оптоволоконный.

*БНПА* должен эксплуатироваться со всех проектов океанографических исследовательских кораблей и ГИСУ водоизмещением более 2000 тон и иметь следующие основные характеристики:

- ◆ глубина погружения – до 2000 м;
- ◆ скорость буксировки – 2–10 узлов;
- ◆ время непрерывной работы – 120 ч;
- ◆ масса – до 500 кг.

Навигационная и научно-исследовательская аппаратура:

- ◆ эхолот;
- ◆ глубиномер;
- ◆ приемник гидроакустической навигационной системы с длинной базой (ГАНС ДБ);
- ◆ гидрологический комплекс (температура, соленость, скорость звука, прозрачность);
- ◆ многолучевой эхолот;
- ◆ акустический профилограф;
- ◆ магнитометр.

Судовой управляюще-вычислительный комплекс (СУВК) строится на базе персонального компьютера и включает в себя цветной телевизионный монитор, блок обработки и документирования информации.

В состав комплекса БНПА также входят оптоволоконный кабель-трос, автоматизированная лебедка, связанная с СУВК, и специально разработанное СПУ.

Основной задачей при разработке БНПА является выбор материалов несущей конструкции аппарата, рациональный подбор и размещение взаимозаменяемой научно-исследовательской аппаратуры и высокий уровень автоматизации процесса управления их работой, обработки и документирования материалов исследований.

В последние годы основное внимание уделяется разработке АНПА как наиболее перспективным и обладающим наибольшей по сравнению с БНПА возможностью в исследовании Мирового океана.

*Малый АНПА* предназначен для гидрографических и поисковых работ в шельфовой зоне. Особенно важно, что малый АНПА может выполнять работы в районах интенсивного судоходства, не ограничивая движение судов и кораблей в районе выполнения работ, а также используется при прокладке протяженных объектов на дне. Должен эксплуатироваться со всех проектов гидрографических судов и иметь следующие основные характеристики:

- ◆ глубина погружения – до 500 м;
- ◆ скорость хода – 6 узлов;

- ◆ автономность – до 12 ч;
- ◆ масса – до 100 кг.

Навигационная и научно-исследовательская аппаратура:

- ◆ компас;
- ◆ лаг;
- ◆ глубиномер;
- ◆ эхолот (двухчастотный);
- ◆ ГБО (двухчастотный, один из каналов на частоте не менее 600 кГц);
- ◆ ГСО (ориентирован по курсу);
- ◆ цифровая видеосистема (может быть поставлена на аппарат вместо ГБО);
- ◆ маяк-запросчик ГАНС УКБ;
- ◆ светорадиомаяк.

Судовой управляюще-вычислительный комплекс строится на базе персонального компьютера и включает в себя: гидроакустическую систему связи (ГАСС), цветной телевизионный монитор, блок обработки информации.

Кроме того, в состав комплекса малого АНПА входят ГАНС УКБ и вьюшка кабеля связи с погружным модулем ГАНС. Также должна быть предусмотрена возможность определения места ГАНС ДБ.

*Средний АНПА* предназначен для всех видов гидрографических исследований во всех районах Мирового океана с глубинами до 2000 м, в том числе и в Арктическом бассейне. Должен эксплуатироваться со всех проектов океанографических исследовательских судов и гидрографических судов водоизмещением 1200 тон и иметь следующие основные характеристики [1]:

- ◆ глубина погружения – до 2000 м;
- ◆ скорость хода – до 6 узлов;
- ◆ автономность – 72 ч;
- ◆ масса – до 1000 кг.

Навигационная и научно-исследовательская аппаратура:

- ◆ инерциальная навигационная система (ИНС);
- ◆ доплеровский лаг;
- ◆ компас;
- ◆ приемник СРНС;
- ◆ датчик крена и дифферента;
- ◆ глубиномер;
- ◆ эхолот (двухчастотный);
- ◆ интерферометрический ГБО;
- ◆ многолучевой эхолот (устанавливается вместо ГБО);
- ◆ ГСО (ориентирован по курсу);
- ◆ цифровая видеосистема;
- ◆ магнитометр;
- ◆ гравиметр (устанавливается вместо ГБО);
- ◆ гидрологический комплекс (устанавливается вместо ГБО);
- ◆ приемник ГАНС ДБ (возможна установка маяка-запросчика ГАНС УКБ для обеспечения навигации АНПА относительно СН).

Судовой управляюще-вычислительный комплекс строится на базе персонального компьютера и включает в себя ГАСС, цветной телевизионный монитор, блок обработки информации.

Кроме того, в состав комплекса среднего АНПА входит ГАНС ДБ, ГАНС УКБ и вьюшка кабеля связи с погружным модулем ГАНС УКБ, а также специально разработанное спускоподъемное устройство.

*Большой АПНА* предназначен для выполнения гидрографической разведки и доразведки, а также выполнения всех видов океанографических исследований во всех районах Мирового океана с глубиной до 6000 м, в том числе и в Арктическом бассейне [1]. Должен эксплуатироваться со всех океанографических исследовательских судов и гидрографических судов водоизмещением более 2000 т и иметь следующие основные характеристики:

- ◆ глубина погружения – до 6000 м;
- ◆ скорость хода – 6 узлов;
- ◆ автономность – 10 суток;
- ◆ масса – от 1000 до 3500 кг.

Навигационная и научно-исследовательская аппаратура:

- ◆ ИНС;
- ◆ доплеровский лаг;
- ◆ компас;
- ◆ приемник СРНС;
- ◆ приемник ГАНС ДБ;
- ◆ датчик крена и дифферента;
- ◆ глубиномер;
- ◆ эхолот (двухчастотный);
- ◆ многолучевой эхолот;
- ◆ ГСО (ориентирован по курсу);
- ◆ цифровая видеосистема;
- ◆ магнитометр;
- ◆ гравиметр;
- ◆ гидрологический комплекс.

Судовой управляюще-вычислительный комплекс строится на базе персонального компьютера и включает в себя ГАСС, цветной телевизионный монитор, блок обработки информации.

Кроме того, в состав комплекса большой АНПА входит ГАНС ДБ (унифицированная с ГАНС ДБ для среднего АНПА), а также специально разработанная СПУ (унифицированная с СПУ среднего АНПА).

*Автономный необитаемый подводный аппарат на солнечных батареях (САНПА)* предназначен для всех видов гидрографических исследований во всех районах Мирового океана. Учитывая возможность нахождения в море САНПА в течение нескольких месяцев, может выполнять значительные по объему работы. Однако из-за низкого КПД (примерно 10 %) фотопреобразователей и ограниченной солнечной радиации в средних широтах, особенно в зимнее время, задача эффективного преобразования и использования энергии солнечных панелей является для САНПА важнейшей [1].

Должен эксплуатироваться со всех типов гидрографических судов и иметь следующие характеристики:

- ◆ глубина погружения – до 6000 м;
- ◆ скорость хода – 5 узлов;
- ◆ автономность – неограниченная;
- ◆ масса – до 500 кг.

Навигационная и научно-исследовательская аппаратура:

- ◆ ИНС;
- ◆ доплеровский лаг;
- ◆ компас;
- ◆ приемник СРНС;

- ◆ приемник ГАНС ДБ;
- ◆ глубиномер;
- ◆ эхолот ГБО;
- ◆ многолучевой эхолот;
- ◆ гидрологический комплекс;
- ◆ гравиметр (вместо гидрологического комплекса).

Судовой управляюще-вычислительный комплекс строится на базе персонального компьютера и включает в себя ГАСС, цветной телевизионный монитор, блок обработки информации. Кроме того, в состав комплекса САНПА входят ГАНС ДБ (унифицированный с ГАНС ДБ для среднего АНПА), а также специально разработанное СПУ.

Разработке опытного образца САНПА должна предшествовать научно-исследовательская работа, большей частью связанная с морскими экспериментальными исследованиями.

Совершенствование и развитие ОНПА облегчается тем, что уже существует большое их количество, из которых при проектировании можно выбрать прототипы, используя их положительные элементы и устраняя недостатки. Так, при разработке перспективных ПНПА в качестве прототипа может быть использован ПНПА «Taiger» (Англия), а при разработке перспективных АНПА – «Клавесин» (Россия), «Higen» (Норвегия), «Remus» (США) [2].

Таким образом, основными направлениями совершенствования и развития ОНПА будут являться:

1. Развитие технических средств ОНПА, т.е. миниатюризация и повышение разрешающей способности средств, и направленность их создания под конкретные задачи. Использование возможности взаимозаменяемости ее набора под конкретную задачу, с целью сокращения массогабаритных характеристик аппаратов, уменьшения энергопотребления. Создание нового поколения высокочувствительных малогабаритных гироскопов, акселерометров, инерциальных навигационных систем, систем курсоуказания, гравиметров, измерителей скорости, глубины погружения и других технических средств. На базе космических технологий возможна разработка малогабаритных высокоточных ИНС для АНПА. В перспективе необходимо учитывать возможности, которые открывают нанотехнологии. Также ОНПА будут оснащаться многолучевыми гидроакустическими средствами, техническими средствами на базе оптоволокна.
2. Совершенствование систем управления АНПА за счет использования скоростных вычислителей и накопителей информации с объемом памяти порядка десятков и сотен гигабайт.
3. Снижение массогабаритных характеристик за счет использования при изготовлении ОНПА пласт-полимеров, например карбона, а также конструирование их из взаимозаменяемых модулей и сменной аппаратуры.
4. Повышение автономности АНПА за счет новейших источников энергии, совершенствования систем автономной навигации, в том числе навигации по геофизическим полям.
5. Совершенствование каналов связи АНПА с целью получения информации в реальном времени и повышения степени управляемости аппарата.

Реализация вышеперечисленных направлений развития должна обеспечить разработку сбалансированного проекта государственного заказа в части создания ОНПА и их совершенствования на период до 2025 г. и позволит удовлетворить потребности гражданского и оборонного характера.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НТО ОАО «ГНИНГИ МО РФ» по НИР «Исследование по обоснованию развития технологии устройств робототехники ВМФ, используемой в интересах навигационно-гидрографического обеспечения». Этап 3, 2010.
2. Бочаров Л.Д. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – № 8. – С. 88-93.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

**Лазарев Евгений Сергеевич**

46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации в г. Москве.

E-mail: Lazareves@mail.ru.

129327, г. Москва, Чукотский проезд, 8.

Тел.: 84954713480.

Старший научный сотрудник.

**Lazarev Evgeniy Sergeevich**

46 Central Research Institutes Ministry of Defense to Russian Federation in Moscow.

E-mail: Lazareves@mail.ru.

8, Chukchi Journey, Moscow, 129327, Russia.

Phone: +74954713480.

Senior Scientist.

УДК 004.94

**Р.В. Федоренко, Б.В. Гуренко**

**КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ПОДВИЖНЫХ  
ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬНЫХ И ПОДВОДНЫХ  
АППАРАТОВ**

*Представлена структура комплекса моделирования движений подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов и рассмотрены ее элементы. Комплекс моделирования движений позволяет провести эксперименты без реального объекта управления. Рассмотрены программные средства для реализации комплекса моделирования и способы их использования. Подробно рассмотрены варианты реализации процедур численного моделирования, в том числе варианты задания уравнений математической модели подвижного объекта на т-языке, с помощью инструментов интерактивного моделирования и специализированных программ моделирования динамики на основе описания параметров модели. Также предложены варианты программных средств для визуализации движений подвижного объекта.*

*Моделирование; система управления; дирижабль; подводный аппарат.*

**R.V. Fedorenko, B.V. Gurenko**

**AIRSHIP AND UNDERWATER VEHICLES BASED MOBILE OBJECTS  
MOTION MODELLING COMPLEX**

*The paper presents structure of airship and submarine motion simulator, designed to experiment without real control object. Software implementation issues are considered. The paper presents a framework for motions simulation of airship and submarine based vehicles, elements of this structure are considered. Motion simulator is intended for experimentation without real control object. Software tools for implementing of simulator are considered. Variants of implementing*