

# НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ: СОСТОЯНИЕ И ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

За последние 30 лет в различных странах, занимающих ведущее положение в области морских технологий, было создано свыше 9 тыс. самоходных необитаемых подводных аппаратов (НПА) для решения широкого круга задач. Эти аппараты уже продемонстрировали свою эффективность при выполнении аварийно-спасательных, обзорно-поисковых, научно-исследовательских и других видов работ. НПА – одна из наиболее важных и быстро прогрессирующих областей микроробототехники. Но динамика развития этого направления во многом обусловлена современными электронными технологиями. Поэтому рассмотрим состояние и общие тенденции развития этой категории робототехнических средств.

## КЛАССИФИКАЦИЯ САМОХОДНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Современные самоходные НПА представляют собой отдельный класс робототехнических объектов с присущими им задачами, особенностями технологии, составом систем и функциональными свойствами. При всем разнообразии самоходных НПА (по целевому назначению, массогабаритным характеристикам, конструктивному облику, типу энергосиловой установки и т.д. и т.п.) общепризнанной классификации в этом классе робототехники еще не сложилось. Поэтому в зарубежных публикациях, посвященных анализу состояния и прогнозу развития НПА, приводятся достаточно противоречивые факты и статистические сведения. Обзор отечественных и зарубежных публикаций в области подводной техники позволил сформулировать наиболее общее и непротиворечивое условное деление самоходных НПА (рис.1).

Все самоходные НПА (UUV – Unmanned Underwater Vehicle) разделяют на два больших подкласса: неавтономные (привязные) НПА и автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). К неавтономным НПА относят буксируемые и самоходные привязные подводные аппараты.

Л.Бочаров, к.т.н.  
ИПИ РАЕН

Далее в классе неавтономных НПА будут рассматриваться только самоходные аппараты (аппараты с движительной системой).

Неавтономные НПА с движительной установкой (самоходные неавтономные НПА) за рубежом называют дистанционно-управляемые аппараты (Remote Operated Vehicle – ROV или ДНПА). В отечественной литературе эти аппараты наиболее часто называют подводными телеуправляемыми аппаратами (ПТА). Причем для отнесения аппарата к этому классу принципиально наличие проводного канала энергообеспечения и телеуправления (кабель-связки).

Самоходные НПА могут быть плавающими в толще воды, самоходными донными или с комбинированным типом движения.

К автономным необитаемым подводным аппаратам (АНПА) относятся самоходные НПА с автономной системой энергообеспечения и, как правило, беспроводным каналом телеуправления и связи. НПА с автономной системой энергообеспечения, но с проводным каналом управления и связи (обычно на основе волоконно-оптической линии связи), составляют класс полуавтономных аппаратов. Примером такого полуавтономного НПА может служить аппарат проекта NMRS (Nearterm Mine Reconnaissance System), разработанный компанией Northrop Grumman по заказу ВМС США.

Надо отметить, что деление НПА по признаку автономности сформировалось в процессе эволюции этого вида техники, и под автономностью понимается, прежде всего, энергетическая независимость аппарата от судна-носителя. Таким образом, телеуправляемыми могут быть как автономные, так и неавтономные аппараты.

Самоходные НПА уже сформировались в достаточно представительный класс робототехнических средств, насчитывающий свыше 500 различных проектов (моделей). К 2009 году за рубежом было создано более 7500 неавтономных НПА. В разработке и производстве самоходных НПА лидируют США, Великобритания, Канада, Франция, Германия и Япония (рис.2).

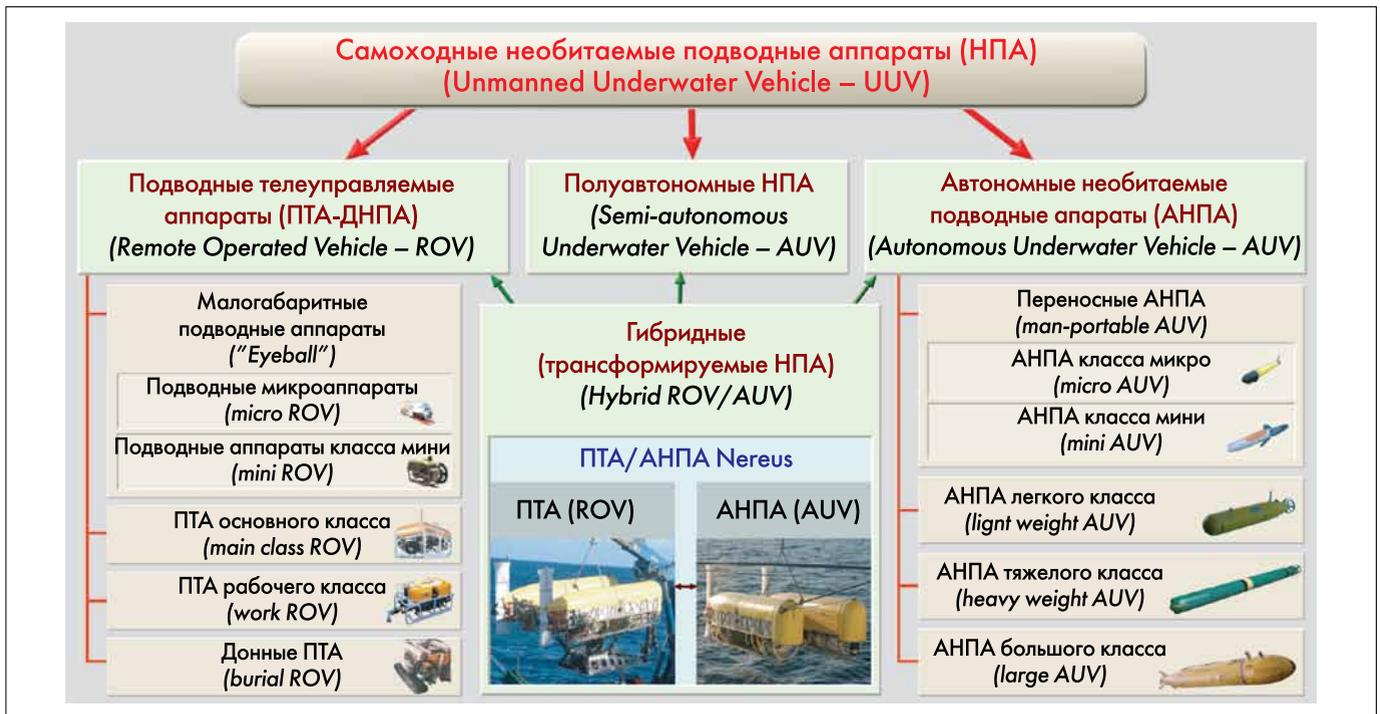


Рис. 1. Условная классификация самоходных НПА (АНПА – по программам ВМС США)

### НЕАВТОНОМНЫЕ НПА

По целевому назначению и особенностям технического оснащения неавтономные НПА разделяют на несколько классов (рис.3, 4).

Разделение неавтономных НПА на микро и мини уже давно используется в зарубежной литературе. Однако такая классификация не имеет четких границ, а потому не однозначна. Аппараты этих классов можно отнести к изделиям микросистемной техники, сформировавшимся в результате миниатюризации всех систем необитаемых подводных аппаратов (НПА). Поэтому остановимся на следующей условной классификации неавтономных НПА по массе аппарата: микро (масса менее <math>5\text{ кг}</math>), мини (масса  $5\text{--}30\text{ кг}</math>), легкие ( $30\text{--}500\text{ кг}</math>), средние ( $500\text{--}5000\text{ кг}</math>) и тяжелые (более  $5000\text{ кг}</math>).$$$$

Класс подводных микроаппаратов (ПМА, micro ROV) сформировался относительно недавно и объединяет аппараты массой не более  $5\text{ кг}</math>. Как, правило, ПМА предназначены для выполнения обзорно-поисковых работ на глубинах до  $100\text{--}150\text{ м}</math>. Подводные малогабаритные аппараты (mini ROV) – это самоходные НПА с массой от  $5\text{ до }30\text{ кг}</math>.$$$

Аппараты основного класса предназначены для решения поисковых, инспекционных и осмотровых задач, выполнения легких механических работ в толще воды и проведения измерений параметров водной среды. Их типовые характеристики: максимальная рабочая глубина – до  $3000\text{ м}</math> (в большинстве проектов – до  $1000\text{ м}</math>); радиус действия (максимальное удаление от обеспечивающего судна) –  $100\text{--}150\text{ м}</math> (в редких случаях до  $1000\text{ м}</math>); скорость подводного хода –  $1\text{--}2,5$  узла, масса – от  $20\text{ до }350\text{ кг}</math>.$$$$$

Аппараты рабочего класса предназначены для решения широкого круга подводно-технических работ (аварийно-спасательных, поисковых, инженерно-строительных и ремонтных). Этот класс составляют НПА массой от  $30\text{ до }6000\text{ кг}</math> с достаточно сложным навесным оборудованием. Как прави-$

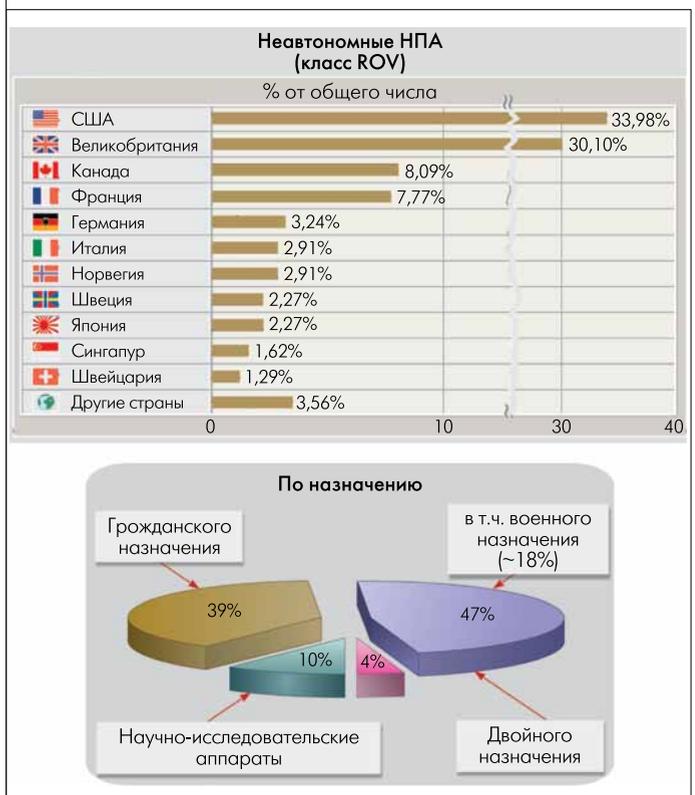


Рис.2. Характеристика активности зарубежных стран в разработках неавтономных НПА (получена на основе обработки сведений о 309 проектах)



Рис.3. Внешний вид современных неавтономных НПА различных классов

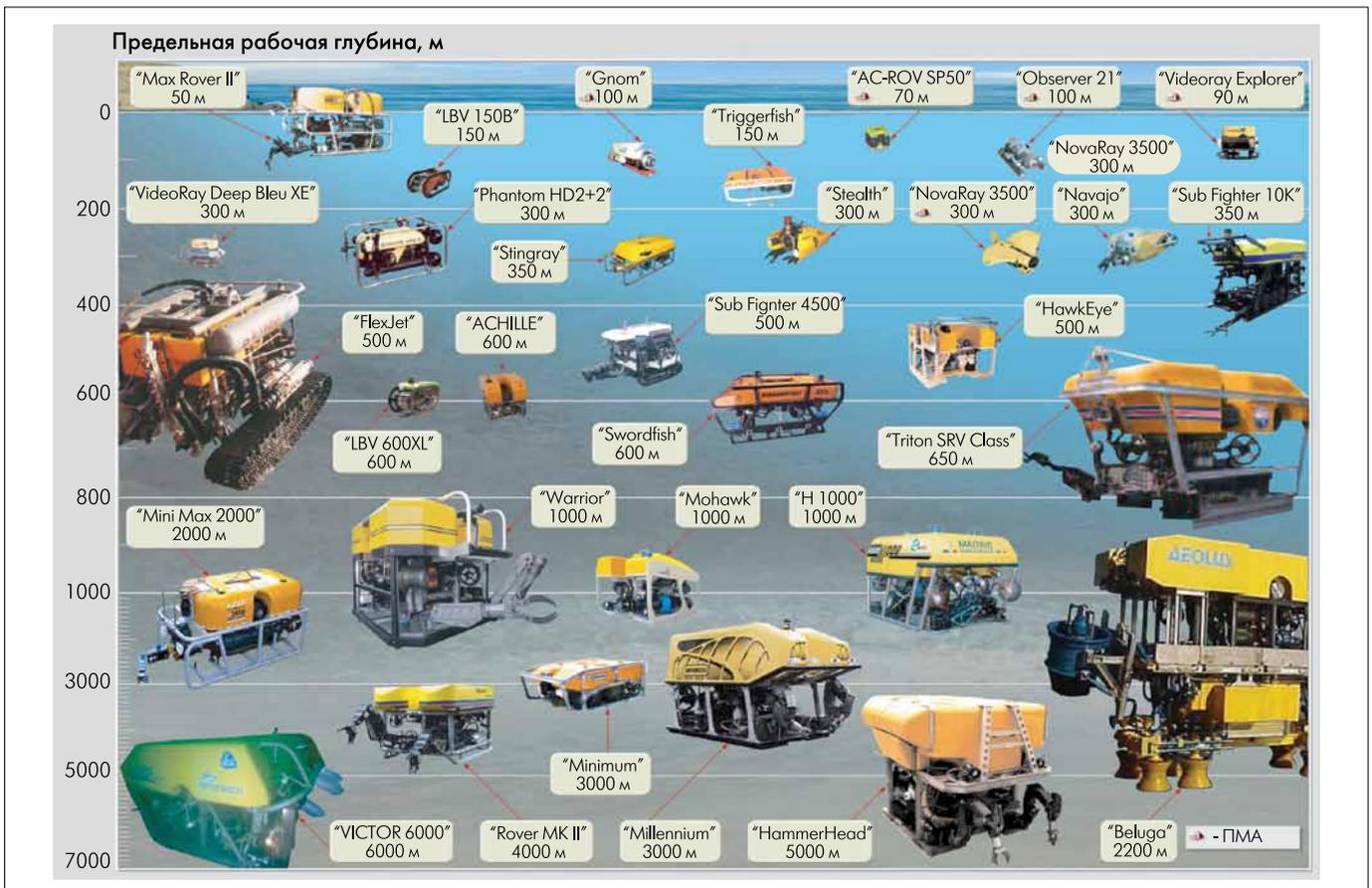


Рис.4. Характеристика распределения современных проектов неавтономных НПА по предельным рабочим глубинам



**Таблица 1. Основные сведения о зарубежных моделях ПМА**

Название аппарата	Разработчик	Страна	Максимальная рабочая глубина, м	Масса, кг	Скорость хода, узлов
AC-ROV SP50	AC-CESS	Великобритания	75	3	1,5
SCALLOP	Inuktun Services	Канада	40	4	2
VR 250	Underwater Vehicle	США	75	3,6	2
VideoRay Deep Blue XE	VideoRay	США	300	4	0-2
VideoRay Explorer	VideoRay	США	90	4	0-2
VideoRay Pro II	VideoRay	США	150	3,5	0-2
VideoRay Pro III	VideoRay	США	150	4	0-2
VideoRay Pro IV	VideoRay	США	150	4	0-4
VideoRay Scout	VideoRay	США	90	3,5	0-2
Observer 21	ADHOC-VISION	Франция	100	5,0	0-2
GNOM	Mariscope Chilena	Чили	100	3	Нет данных
MICRO	Mariscope Chilena	Чили	300	2	1,6

ло, стоимость тяжелых аппаратов рабочего класса составляет 1–3 млн. долл. Объем производства аппаратов рабочего класса массой более 500 кг невысок – не более 60 изделий в год (без учета НПА военного назначения).

Донные НПА – это аппараты на гусеничном ходу, предназначенные для тяжелых механических работ на морском дне. В мире насчитывается не более 65–70 НПА этого класса.

Наибольшее распространение в классе неавтономных НПА получили малогабаритные обзорные аппараты, известные в зарубежной литературе "Eyeball ROV". Типовая стоимость этих аппаратов – 10–50 тыс. долл. В 2008 году было произведено 1200–1300 таких аппаратов, всего к началу 2009 года в мире их было выпущено свыше 4000.

Среди неавтономных НПА аппараты класса микро составляют менее 3–4% (табл.1). Однако объем их продаж из года в год стремительно растет. Лидером в объемах серийно выпускаемых ПМА является компания VideoRay (США), поставившая на мировой рынок более 1200 комплексов. Лидирующие позиции занимает и канадская фирма Inuktun. Выделим шесть коммерчески доступных на мировом рынке проектов ПМА (рис.5–10).

ПМА серии VideoRay, разработанные компанией VideoRay (США) (рис.5.), продаются в шести различных комплектациях стоимостью от 6 до 46 тыс. долл. ПМА серии LBV 150/300 (рис.6) (компания) SeaBotix (США) имеют массу 11–13 кг в за-

висимости от комплектации и рабочей глубины. Стоимость комплексов этих ПМА колеблется от 13 до 40 тыс. долл.

Отметим ПМА серии "ГНОМ" (рис.9) (масса 2–7 кг), разработанный Институтом океанологии им. П.П.Ширшова РАН совместно с ООО "Индэл". Аппарат предназначен для



**Рис.6. ПМА серии LBV 150**



**Рис.7. ПМА Observer 21**



**Рис.5. ПМА VideoRay в комплектации Scout**



**Рис.8. ПМА "AC-ROV SP50", предназначен для проведения обзорных работ**



Рис.9. ПМА "ГНОМ"



Рис.10. ПМА "GNOM", выпускаемый компанией Mariscope Chilena

проведения подводных осмотровых работ на глубинах до 80–150 м. В зависимости от состава бортовых датчиков стоимость комплекса ПМА колеблется в пределах 4–8 тыс. долл. Практически точной копией этого аппарата является ПМА "GNOM" (рис.10), производимый чилийской компанией

Mariscope Chilena (филиал немецкой компании Mariscope).

Достоинства неавтономных НПА по сравнению с АНПА:

- большая продолжительность непрерывной работы (энергоснабжение этих аппаратов осуществляется либо с борта обеспечивающего судна, либо при помощи берегового оборудования);
  - возможность выполнения сложных и тяжелых механических работ в толще воды и на донной поверхности;
  - относительно низкая стоимость постройки и эксплуатации (существенно меньшая сложность конструкции по сравнению с АНПА одного и того же класса);
  - относительно высокая надежность конструкции (практически нет риска невозвращения аппарата).
- Наряду с достоинствами, неавтономные НПА обладают и рядом недостатков, основные из которых:
- полная зависимость аппарата от обеспечивающего судна или берегового надводного оборудования;
  - радиус действия аппарата ограничен длиной кабеля-связки;
  - на борту обеспечивающего судна необходимо устройство управления натяжением кабеля-связки (во время волнения моря);
  - сложность управления аппаратом в условиях сильных течений, завалов и узкостей.

Эти недостатки, а также достижения в области энергетики, электроники и информационных технологий послужили мощным стимулом к стремительному развитию НПА автономного класса.

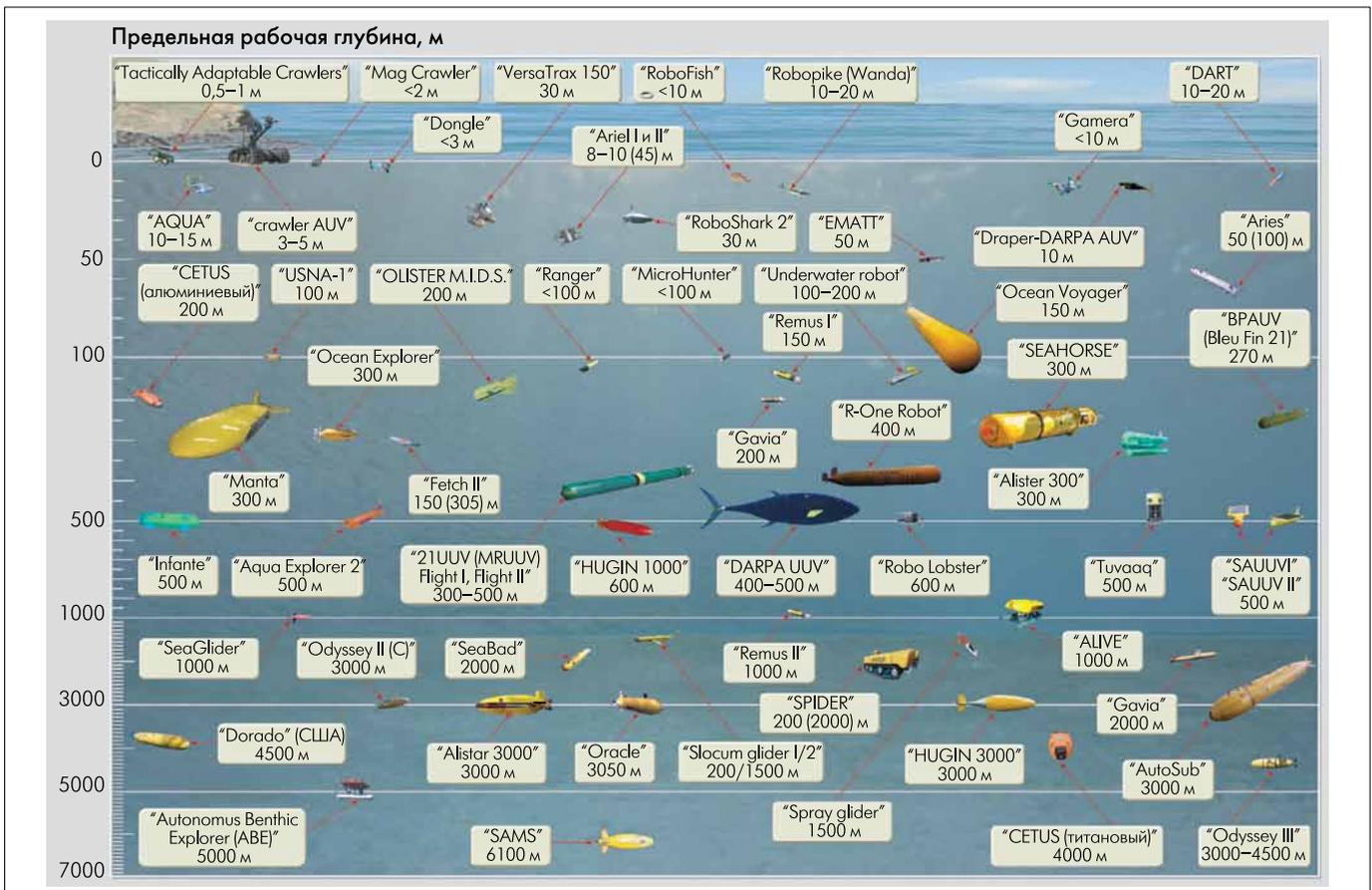
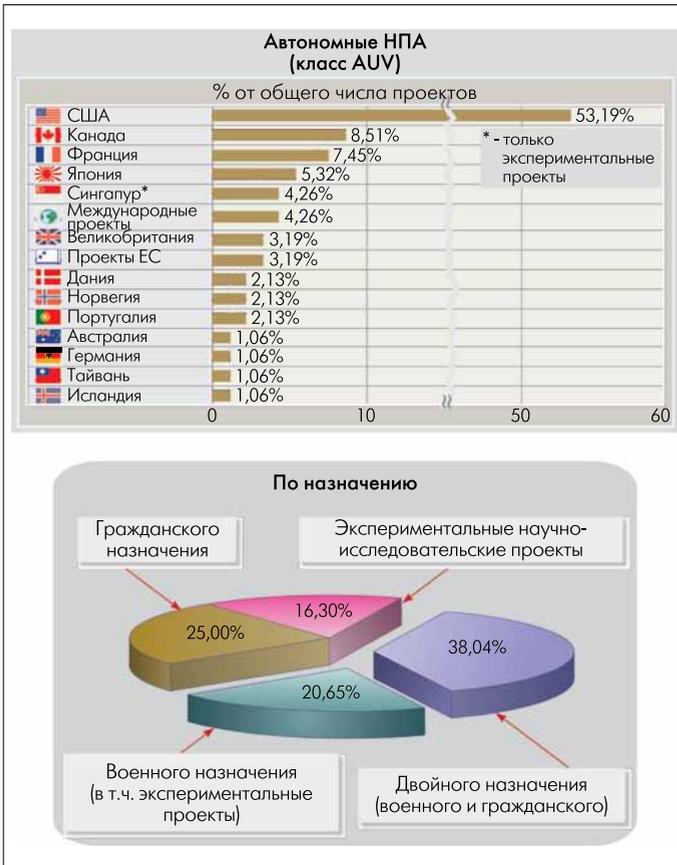


Рис.11. Распределение зарубежных проектов АНПА по предельным рабочим глубинам



**Рис. 12. Характеристика активности зарубежных стран в разработках АНПА (на основе обработки сведений о 112 проектах)**

### АВТОНОМНЫЕ НПА

Класс АНПА развивается наиболее динамично. За последние 5 лет ежегодно появлялось в среднем порядка 70 новых проектов АНПА. На начало 2009 года в мире насчитывалось более 185 проектов автономных и полуавтономных аппаратов различного целевого назначения (рис.11). Однако общее

число таких аппаратов еще не велико – 650–750 единиц. Причем наибольшая их часть относится к малогабаритным АНПА (масса менее 50 кг).

Мировыми лидерами в разработке и производстве АНПА являются США, Канада, Великобритания, Франция, Германия, Япония и Норвегия (рис.12). Наиболее интенсивно автономные аппараты разрабатываются и производятся в интересах оборонных ведомств этих государств. Например, в перспективных планах Министерства обороны США определено, что к 2013 году в боевом составе ВМС США будет находиться около 1000 АНПА, сейчас у ВМС США в эксплуатации (в том числе – в опытной) 220–230 АНПА. Наибольшее практическое распространение в этом классе получили комплексы на основе малогабаритных АНПА (до 50–70 кг), стоимость которых – от 50 тыс. до 350 тыс. долл. Их техническое оснащение позволяет решать широкий спектр научных и практических задач в диапазонах глубин от 10 до 3000 м.

Наиболее общими и существенными классификационными признаками для АНПА (включая полуавтономные НПА) являются целевое назначение, массогабаритные характеристики и конструктивный облик, включая тип движителя и системы энергообеспечения.

Основное целевое назначение проекта АНПА может быть военным, гражданским, двойным и экспериментальным. Надо отметить, что модульный принцип построения современных аппаратов привел к стиранию грани между их целевым назначением. Практически все современные разработки конструкций АНПА являются многоцелевыми.

По массе АНПА подразделяются на микро (АПМА), мини, малые, средние и большие (рис.13). К автономным



**Рис. 13. Категории АНПА**

подводным микроаппаратам (АПМА, micro AUV) относятся аппараты массой менее 20 кг. Данная категория составляет 20–25% от общего числа известных проектов АНПА. Большая часть (50–60%) моделей АПМА создается с использованием бионических принципов и носит экспериментальный характер. Типовые технические характеристики

этой категории аппаратов: дальность плавания не более 1–2 морских миль, предельная рабочая глубина менее 150 м; скорость хода – 1,5–2 узла.

Категория мини-АНПА объединяет аппараты массой в пределах 20–100 кг (15–20% от общего числа зарубежных проектов АНПА). Диапазон дальности плавания мини-

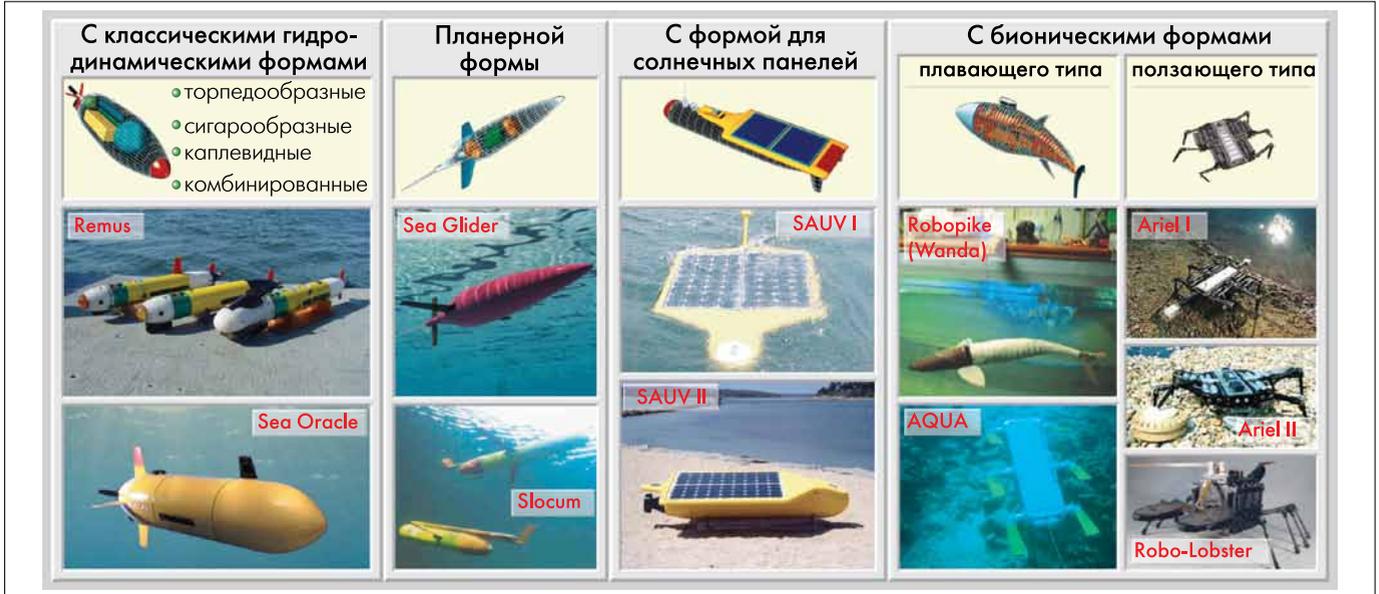


Рис. 14. Условная классификация АНПА по конструктивному облику



Рис. 15. Малогабаритные переносные комплексы АНПА с базовой стоимостью 250–350 тыс. долл.



АНПА весьма широк – от 0,5 до 4000 морских миль. Наиболее известны мини-АНПА проектов REMUS 100\*, SeaLion (BlueFin 9)\*\*, Gavia, Sea Glider, Slocum Glider I/II и Spray Glider. Последние три АНПА представляют собой планеры с системой движения на основе изменения остаточной (собственной) плавучести.

Малые АНПА – это АНПА массой 100–500 кг. Типичные представители АНПА малого класса – проекты AQUA EXPLORER 2 (Япония), Odyssey III, Ocean Explorer, BPAUV и SAUV II (все – США).

Средние АНПА обладают массой от 500 до 2000 кг. Типичные представители таких АНПА – проекты ARCS (Канада), REMUS 6000 (США), HUGIN 1000/3000 (Норвегия), Wayamba (Австралия).

Большие АНПА представлены аппаратами массой свыше 2000 кг. Характерные примеры – проекты Alistar 3000 (Франция), AutoSub (Великобритания), SEAHORSE и LAZARUS (США).

Отметим, что первая официальная классификация АНПА военного назначения была опубликована в Комплексном

плане развития необитаемых подводных аппаратов ВМС США (The Navy Unmanned Undersea Vehicle Master Plan, Department of the Navy, USA, November 9, 2004). Этот документ определил четыре категории АНПА: малогабаритные (переносные); легкие; тяжелые и большие (см. рис.1).

По форме корпуса АНПА (по облику конструкции) сформировались следующие устойчивые типы (рис.14):

- с классическими гидродинамическими формами (цилиндрической, торпедообразной, каплеобразной, сигарообразной, плоской и комбинированной);
- планерной формы с системой движения, основанной на изменении собственной (остаточной) плавучести аппарата;
- с плоской верхней частью корпуса (солнечные АНПА – аппараты с фотоэлектронными преобразователями для подзарядки аккумуляторных батарей);
- с бионическими формами (плавающего и ползущего типа) или созданные с использованием бионических принципов (например, аппараты с плавниковыми движителями).

Больше всего в мире ежегодно производится малогабаритных (переносных) АНПА торпедообразной формы (рис.15).

*Продолжение следует.*

\* разработан компанией Hydroid LLC, которая в июне 2008 года была приобретена группой компаний Kongsberg (Норвегия).

\*\* разработан компанией Bluefin Robotics, которая в 2005 году приобретена Battelle Memorial Institute.