

АВТОНОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ РОБОТЫ НА БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ ЛОКОМОЦИЙ

М.А. Кузьмицкий, М.Р. Гизитдинова

Санкт-Петербургский
государственный морской
технический университет

Россия имеет самую протяженную в мире морскую границу (38 800 км) и самую обширную шельфовую зону, представляющую стратегически значимые энергетические ресурсы. Вряд ли нужно доказывать важность обеспечения национальной безопасности нашей страны с моря. Автономные подводные роботы по своим функциональным возможностям и технико-экономическим показателям способны стать компонентом первостепенной значимости в решении этой масштабной оборонной задачи. Особую важность здесь приобретают портативные автономные подводные роботы, которые не требуют развитой инфраструктуры, специальных носителей и т. п. и которые можно без особых затруднений использовать в условиях необорудованного побережья.

Легкие и портативные мобильные роботы отличаются маневренностью, способны к быстрой адаптации к конкретному виду выполняемой миссии, требуют относительно небольших затрат на их производство и эксплуатацию. Известно, что затраты на содержание, обслуживание и эксплуатацию обитаемых ПА на протяжении всего жизненного цикла, как правило, превышают стоимость их постройки или закупки. Привязные телеуправляемые НПА, в особенности мини- и микро-аппараты (МТПА), сравнительно дешевы (от 5 до 20 тыс. дол.), но оперативный радиус их действия крайне не-

велик, а использование МТПА возможно только со специально оборудованного обеспечивающего судна, находящегося непосредственно в месте проведения операции. В большинстве ситуаций военного характера, а также в северных условиях это невозможно.

Портативные автономные подводные роботы свободны от этих недостатков, а стоимость их вполне приемлема: покупка Великобританией у США 10 АНПА «Remus» обошлась в 4,9 млн дол., т. е. стоимость одного АНПА не превышает 490 тыс. дол. Напомним, что стоимость «дешевой» торпеды ВМС США составляет 400 тыс. дол. Торпеда – это образец одноразового использования, и дешевая торпеда используется по принципу «выстрелил и забыл». АНПА, за исключением одноразовых аппаратов-уничтожителей мин, – это подводная техника многоразового использования, их жизненный цикл измеряется многими годами. Основное назначение таких роботов – охрана важных объектов, противодействие террористам, поиск и обезвреживание взрывоопасных предметов. Они же весьма эффективны и в наступательных операциях, в т. ч. при подготовке морских десантов.

В рамках одной статьи невозможно рассмотреть все альтернативные пути развития портативных подводных роботов, выделим лишь одну из актуальных задач: действия в условиях мелководья, прибойной

зоны. Обычно эти задачи, связанные с высоким уровнем риска и неизбежными потерями, выполняли боевые пловцы. Групповое использование автономных подводных роботов, развертывание сети роботов, координированно выполняющих заданную миссию и заменяющих силы и средства с экипажами, делают потери какого-то числа роботов приемлемыми и исключают потери личного состава. Проблемы, связанные с надежным и эффективным функционированием традиционной подводной техники в условиях мелководья, хорошо известны. Для действий в непосредственной близости от уреза воды, в прибойной зоне традиционные средства вообще не пригодны. Здесь нужны принципиально новые, оригинальные решения.

Новые перспективы сегодня связаны с автономными подводными роботами на принципах бионических локомоций (движений, вызывающих перемещение робота).

Наряду с автономными подводными роботами, имеющими традиционный внешний облик, напоминающий торпеду, в подкласс портативных роботов входят весьма необычные аппараты, похожие на реальных гидробионтов и амфибий, – рыб, крабов, змей. И создаются эти роботы отнюдь не для развлечений. Такие формы, а также способы передвижения не только их маскируют под природные биообъекты, но и обеспечивают целый ряд преимуществ в процессе функционирования в прибойной зоне и на берегу. Это крайне важно при проведении разведывательных и противоминных действий в районе планируемой высадки десанта, когда особую значимость приобретают зоны весьма малых (до 0,5 м) глубин, прибойная полоса, берег. Известно, что для характеристики прибрежных участков с глуби-

нами от 6 м до уреза воды требуется большее количество данных, чем для глубоководной части океанического бассейна.

Техника связана с получением, переработкой, распределением, передачей и использованием энергии, веществ и информации. Бионика целенаправленно исследует живые организмы (бионты), их функции, строение, особенности с целью усовершенствования существующих или создания новых, более совершенных, технических систем. В зависимости от того, какие из закономерностей, свойственных биологическим системам, используются, можно говорить об информационном, вещественном или энергетическом аспектах бионики.

Природа за многие миллионы лет естественного отбора создала массу уникальных бионтов, функционирующих целесообразно, экономично, надежно, точно. Гармоничность живых существ, их способность адаптироваться к изменениям многочисленных факторов внешней среды, разнообразие приспособительных реакций – все это представляет собой богатейший комплекс живых примеров для создаваемых технических систем.

В связи с бурным прогрессом микроэлектроники, кибернетики, автоматики, энергетики, материаловедения многие технические решения, еще недавно казавшиеся фантастическими, стали доступными. Поиски бионических аналогов в связи с этим начиная с 60-х годов XX в. становятся регулярными, систематическими и приобретают широкий размах. Экспериментальные подводные аппараты с плавниковыми движителями создавались и исследовались в 1970–80 гг. на кафедре самоходных подводных аппаратов в Ленинградском кораблестроительном институте (ныне СПбГМТУ). Называть

эти аппараты роботами на бионических принципах в современной трактовке этих понятий вряд ли возможно, состояние техники 30–40-летней давности не позволяло реализовать многие технические решения. Микроэлектроника и мехатроника открыли недоступные ранее горизонты: процесс микроминиатюризации – это не только многократное уменьшение размеров, не простое масштабирование. Это переход в иную систему измерений по всем компонентам разработки. Современные микротехнологии создали необходимые предпосылки для разработки совершенных подводных роботов на биопринципах.

В зарубежной подводной робототехнике военного назначения, где скрытность, малые габариты, длительное время функционирования в сложных, априори трудно предсказуемых условиях имеют первостепенное значение, использование бионических принципов стало од-

ним из перспективных направлений развития.

Далеко не все решения, оравданные в живой природе, приемлемы в технике. Природным объектам свойственна избыточность, что далеко не всегда допустимо в технике. Колесо и винт – произведения техники, в природе их не существует. Поэтому не следует слепо копировать природу, нужно позаимствовать у нее самые совершенные конструктивные схемы и механизмы, понять и реализовать в технике принципы, которые обеспечивают биосистемам высокую гибкость поведения и живучесть в сложных меняющихся условиях.

В данной статье мы ограничимся рассмотрением использования принципов бионических локомоций для плавающих подводных роботов, не затрагивая другие их типы (ползающие и шагающие), а также информационные и сенсорные аспекты бионики.

ОСОБЕННОСТИ ПЛАВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Роботы-рыбы (Robot-fish, RF) привлекают к себе внимание из-за малозумности и внешнего подобия гидробионтам, что обеспечивает скрытность присутствия искусственных технических объектов как в охраняемых акваториях, так и в чужих водах. Эти качества могут оказаться решающими и в наступательных операциях, и в операциях оборонительного характера, противодиверсионных и антитеррористических.

Морфологию типов движителей плавающих гидробионтов иллюстрирует рис.1. Движущая (локомоторная) сила, сообщающая гидробионту поступательное движение, создается в результате локомоторных движений определенных частей его тела (ундуляционный и вельсельный типы движителей), либо путем выбрасывания струи

воды (гидрореактивный тип).

Ундуляционный (изгибно-колебательный) тип движителя обеспечивает плавание за счет волнообразных изгибаний тела и плавников. При прохождении по ундуляционному движителю локомоторной волны обе стороны тела и плавников выполняют функции рабочих, т. е. создающих локомоторную силу, поверхностей. Этим он отличается от весельного типа движителя. Ундуляционный движитель включает в себя элементы осевого скелета и хвостового плавника, роль которого как локомоторного органа тем больше, чем короче и толще тело гидробионта и чем больше относительная толщина хвостового плавника. Двухлопастная форма хвостового плавника предотвращает вихреобразование. У наиболее скоростных рыб – тун-

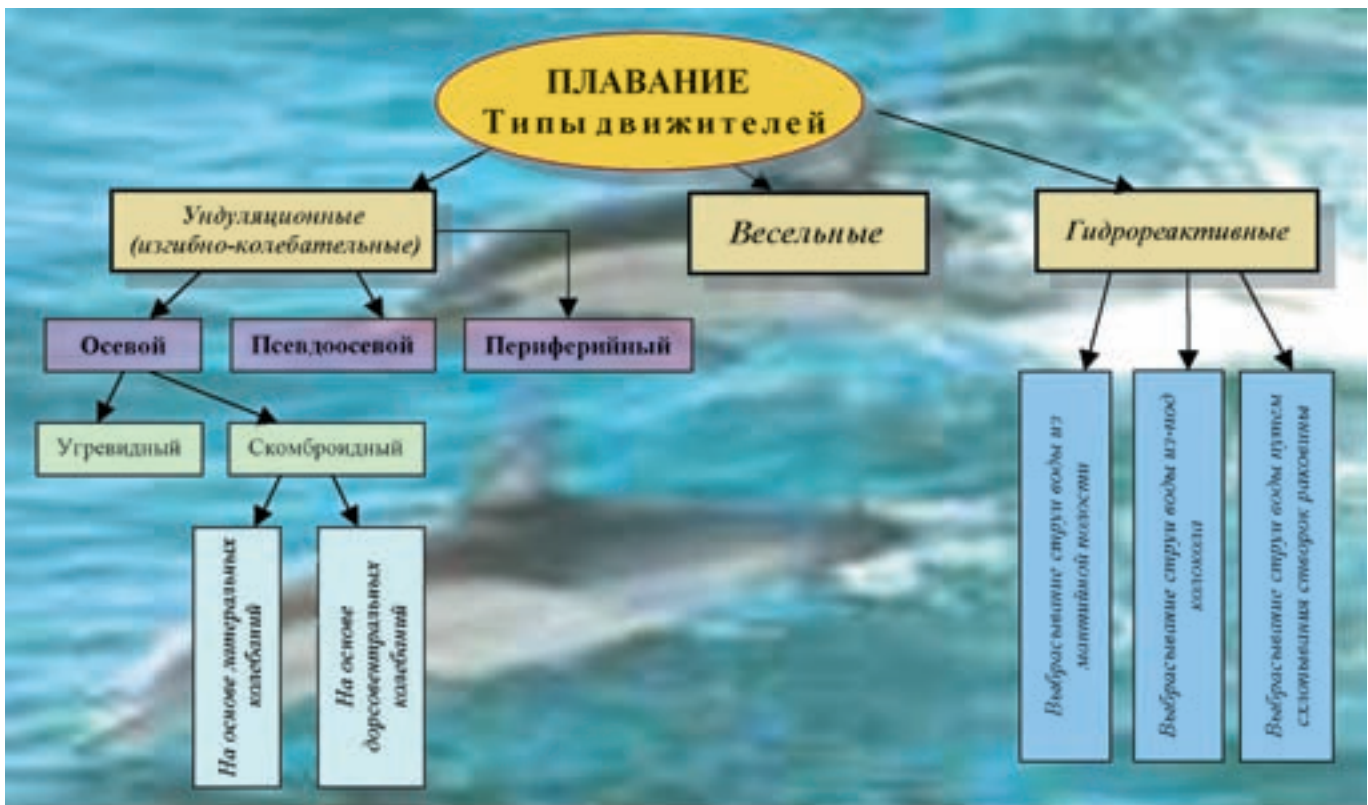


Рис. 1. Морфология типов движителей плавающих гидробионтов

ца, меч-рыбы – хвостовой плавник как движитель работает в минимальной гидродинамической тени корпуса.

В процессе плавания локомоторные изгибания охватывают в той или иной степени тело гидробионта, т. е. изгибается его продольная ось (осевой тип движителя). Этот тип свойствен большинству рыб, в т. ч. и самым скоростным, а также всем наиболее приспособленным к плаванию гидробионтам (китам, дельфинам и т. п.). Максимальные скорости плавания гидробионтов: дельфин – 27 уз, тунец – 50 уз., меч-рыба – 60 уз. Высокие скоростные качества обусловлены как мощной и гармоничной волновой локомоторикой, так и активным управлением свойствами кожного покрова с целью снижения гидродинамического сопротивления. Широко известен т. н. парадокс Грея, английского исследователя, который в середине 30-х годов XX века пришел к выводу, что запасы мускуль-

ной энергии дельфинов в рамках существующей гидродинамической теории недостаточны для обеспечения наблюдаемой скорости их плавания. С тех пор не прекращаются исследования в области биогидромеханики, получены интересные данные для большой совокупности гидробионтов [1–3].

У длинных гибких рыб амплитуда локомоторной волны велика и на протяжении тела остается почти постоянной, только слегка увеличиваясь от головы к хвосту (угревидный тип). У рыб с обычной формой тела, таких как скумбрия, амплитуда локомоторной волны меньше и увеличивается от головы к хвосту (скомброидный тип). Этот тип ундуляционного движителя обеспечивает наибольшие скорости плавания.

Чаще всего изгибания являются латеральными, т. е. происходящими в горизонтальной плоскости, реже – дорсовентральными (в вертикальной). В последнем случае тело гидроби-

онта играет роль несущей поверхности, что способствует маневренности в вертикальной плоскости, необходимой для осуществления дыхательного акта у дельфинов и китов.

Сгибание тех или иных участков тела при создании локомоторной волны обеспечивается активным сокращением мышц, а разгибание в значительной мере происходит за счет пассивной механической упругости тела гидробионта.

Псевдоосевой ундуляционный движитель в функциональном аспекте подобен хвостовому плавнику, но образован не осевым скелетом, как у рыб, а задними конечностями. В периферийном движителе совершаются ундуляции периферийно расположенных плавников, не включающих в себя продольную ось тела гидробионта. Весельный тип движителя используют некоторые виды рыб, полуводные животные (черепахи и пр.) и водоплавающие птицы (пингвины и пр.).

Для практических целей наибольший интерес представляют подводные роботы, в которых реализуется ундуляционный скомброидный тип движителя. В России первый патент на движитель типа «рыбий хвост» (плавниковый) датирован 1887 г. С тех пор зарегистрировано более 25 патентов на различные конструкции движителей бионического типа.



Рис. 2 Рыбообразный САНПА «Robotuna» с гибким корпусом и плавниковым движителем фирмы «iRobot» (Massachusetts Institute of Technology, США)



Рис. 3 Робот-рыба; совместная разработка Института робототехники при Пекинском университете авиации и космонавтики и Института автоматизации при Академии наук Китая



Рис. 4 Автономная рыба-робот «Dongle», Seattle Robotics Society



Рис. 5 Роботы-рыбы, созданные в Institute of Field Robot (FIBO), Таиланд



ПЛАВАЮЩИЕ АВТОНОМНЫЕ РОБОТЫ

Использование бионических способов локомоций для создания рыб-роботов в современном понимании этого термина началось с создания АНПА Robotuna МІТ (Массачусетский технологический институт) в 1994 г. Эта рыба-робот, воспроизводившая тунца, получила кличку «Чарли». Длина робота составляла около 2 м, тело его было собрано из 2843 элементов, включая 40 металлических ребер и сухожилий, сегментированный спинной хребет, большой хвостовой плавник и кожный покров из лайкры (рис. 2). Локомоции создавались шестью сервоприводами. Затем последовали разработки рыб-роботов как в США, так и в Великобритании, Японии, Китае, Таиланде (рис. 3–15) [4–10].

В Великобритании научно-исследовательским центром робототехники в университете Эссекса с апреля 2002 г. были созданы целые серии рыб-роботов МТ-1 (Mechanical Tail), способных плавать, маневрируя в двух плоскостях [9].

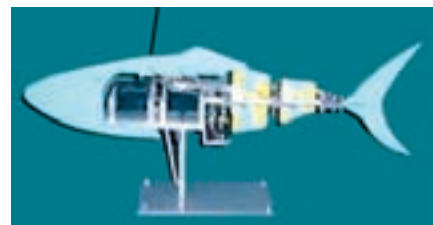


Рис. 6 Робот-рыба; разработка National Maritime Research Institute (NMRI) – Научно-исследовательского института кораблестроения при Министерстве транспорта Японии (Токио)



Рис. 7 Привод хвоста-двигателя рыбы-робота «PF600»



Рис. 8
Робот-рыба «Roboshark» в Национальном морском аквариуме (National Marine Aquarium) города Плимут, Великобритания



Рис. 9
Экспериментальный образец-прототип рыбы-робота «PF600», National Maritime Research Institute (NMRI), Токио

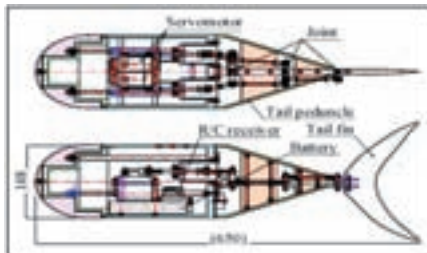


Рис. 10
Конструкция рыбы-робота «PF600»

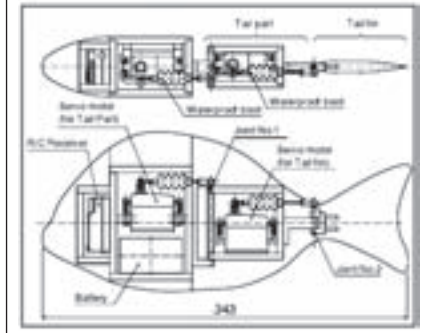
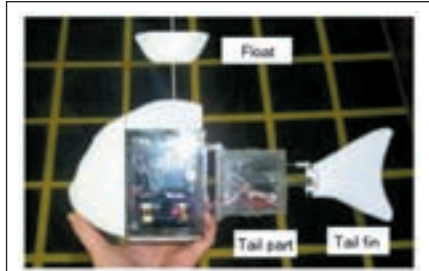


Рис. 13
Экспериментальный образец-прототип рыбы-робота «PF300» «PF300», National Maritime Research Institute (NMRI), Токио

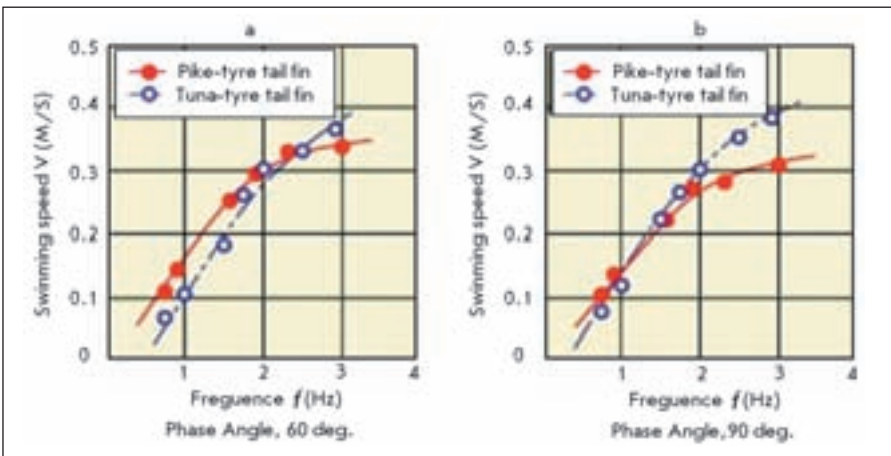


Рис. 11
Результаты эксперимента над рыбой-роботом «PF600»

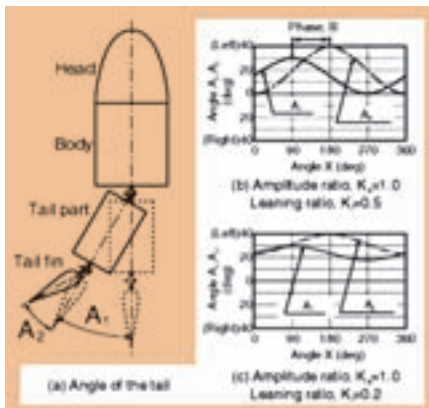


Рис. 14
Схема и результаты измерений в процессе испытаний PF300



Рис. 12
Прототип рыбы-робота «MT-1» (Mechanical Tail), Department of Computer Science, University of Essex, Великобритания



Рис. 15
Установка экспериментальная

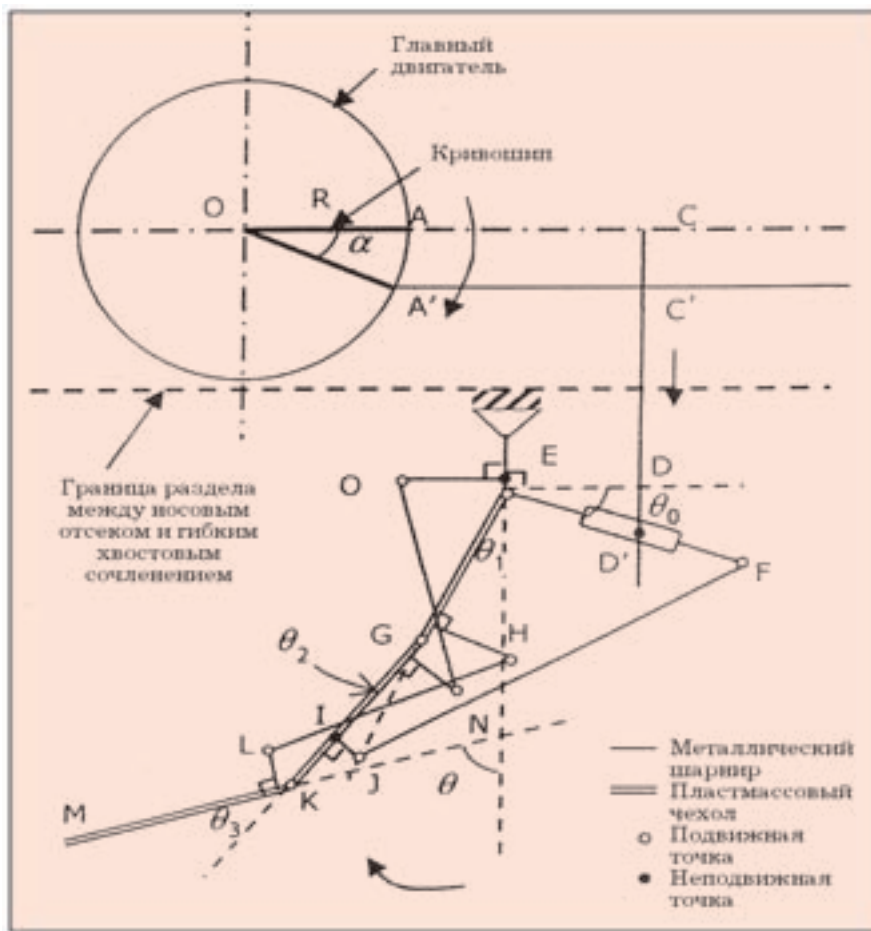


Рис. 16
Гибкое хвостовое сочленение MT-1

Исследовались два типа локомотий: CST (C-Shape Sharp Turning) и SSS (S-Sharp fast Start). Оказалось, что локомоторная волна С-типа, существенно более простая для реализации, достаточно хорошо воспроизводит ундуляции реальных гидробионтов.

Здесь удачно сочетаются простота управления сервоприводом с вполне приемлемым качеством аппроксимации локомотий реальных гидробионтов. Это становится возможным за счет гибкости хвостового плавника и сопротивления воды. Были разработаны две серии рыб-роботов. В G-серии (от G1 до G5) использовалась 4-шарнирная схема хвостовой части с четырьмя сервоприводами, в MT-серии реализована схема «один сервопривод – многошарнирная хвостовая часть». В роботе G3 были реализованы

как CST, так и SSS локомотии. В G-серии сервоприводы размещались в герметичных чехлах из поливинилхлорида, подверженных обжатию внешним давлением, что не позволило роботам G-серии совершать маневры по глубине из-за изменения плавучести робота.

В роботах MT-серии локомоторную волну С-типа обеспе-

чивает один сервопривод, а гибкое сочленение с шарнирами и соединительными рычагами, заканчивающееся хвостовым плавником (рис.16), выполнено в погружном исполнении. RF MT-серии имеют нейтральную плавучесть независимо от глубины; управление по глубине осуществляется с помощью грудных плавников, приводимых в движение отдельным сервоприводом. Движение рыбы-робота серии MT в двух плоскостях обеспечивается управлением пятью параметрами, с чем успешно справляется бортовой контроллер. При частоте переключений плавника 2 Гц в ходе испытаний в бассейне была показана скорость плавания 0,83 длины тела RF в секунду. Бортовые батареи обеспечивают автономность 4,5 ч.

Разработки рыб-роботов активно продолжаются. Можно говорить о возникновении специфической и многообещающей области подводного аппарата-строения, занятой созданием подводных роботов специального назначения, хорошо имитирующих локомоторику реальных гидробионтов. Уже созданы и прошли успешные испытания как плавающие, так и ползающие, и шагающие биоподобные роботы, представляющие значительный интерес не как некий технический курьез, а как весьма перспективный вид подводно-амфибийных роботов военного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алеев Ю.Г. Нектон. Киев: Наук. думка, 1976.
2. Першин С.В. Основы гидробионики. Л.: Судостроение, 1988.
3. Грушанская Ж.Я., Короткин А.И. Мифы и реальность гидробионики. // "Флагман корабельной науки" – СПб.: ФГУП ГИЦ ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, 2005.
4. http://fibo.kmutt.ac.th/project/eng/current_research/fish.html
5. <http://mhi.ru/news/?id=5>
6. http://www.servihoo.com/channels/kinevs/afp_details.php?id=100244&CategoryID=46
7. http://news.bbc.co.uk/cbbcnews/hi/newsid_4310000/newsid_4315200/4315282.stm
8. <http://www.robots.net/article/641.html>
9. <http://privatewww.essex.ac.uk/~jliua/paper/iros05formatpublish.pdf>
- http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/experiment/pf300_991125/pf300e.htm