

ДВУХСРЕДНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И ИХ НОСИТЕЛИ

Г.Ю. Илларионов

В статье рассмотрена одна из современных и перспективных морских технологий – двухсредные беспилотные летательные аппараты, которые способны одинаково хорошо работать как в воздушной, так и в водной среде. В качестве их носителей предложено использовать автономные необитаемые подводные аппараты.

Ключевые слова: двухсредные беспилотные летательные аппараты (квадрокоптеры), автономные необитаемые подводные аппараты, полезные нагрузки, эффективность.

1. Введение

Двухсредные квадрокоптеры и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолетного типа способны одинаково хорошо работать как в воздушной, так и в водной среде. Они являются дальнейшим развитием двухсредных обитаемых аппаратов – гибридов самолета и подводной лодки [1] и могут применяться в разных сферах, например:

- разведка – двухсредные аппараты могут использоваться для наблюдения за воздушным и водным пространством в режиме реального времени;
- поисково-спасательные работы – такие квадрокоптеры позволяют осматривать потенциально опасные объекты без риска для жизни человека;
- обследование подводных объектов – некоторые двухсредные аппараты оборудованы системой погружения и всплытия, что позволяет им погружаться и осматривать подводные объекты;
- противоминная деятельность – двухсредный аппарат работает под водой, ищет опасные объекты, после чего поднимается в воздух и передает данные противоминным силам;
- двухсредные квадрокоптеры, снабженные соответствующими датчиками, могут использоваться для научных исследований под водой, на земле или в воздухе.

Двухсредные квадрокоптеры и БПЛА самолетного типа представляют новую ветвь развития беспилотной морской авиации и отличаются от обычных БПЛА, совершающих полет над землей, повышенной коррозионной стойкостью, герметичностью и

способностью противостоять повышенному внешнему давлению водной среды [2].

2. Двухсредные беспилотные летательные аппараты самолетного типа

Двухсредный БПЛА «Flimmer». ВМС США работают над созданием БПЛА самолетного типа, предназначенного для поиска, обнаружения и сопровождения подводных лодок (рис. 1). БПЛА Flimmer (Flying Swimmer) умеет летать и нырять, он оснащён складывающимися плавниками, раскрывающимися при погружении под воду. БПЛА разрабатывается в Научно-исследовательской лаборатории ВМС США (United States Naval Research Laboratory (NRL) – в подразделении Laboratory for Autonomous Systems Research (LASR). Двухсредный БПЛА Flimmer имеет следующие ТТХ: крейсерская скорость полёта 80 км/ч; максимальная скорость полёта 100 км/ч; максимальная дальность полёта 40 км; максимальная высота полёта 3100 м; скорость хода под водой 5 м/с; глубина погружения 45 м; процесс приводнения и погружения занимает 1,5 мин; тип двигателя – электрический, с питанием от литий-ионной аккумуляторной батареи (АКБ). В полёте БПЛА использует крылья, при входе в воду они складываются, и аппарат переходит на движение под плавниковыми движителями (рис. 1). Под водой Flimmer движется практически бесшумно и обладает высокой маневренностью, он может не только нырять, но и садиться на поверхность воды, а так же взлетать с неё.

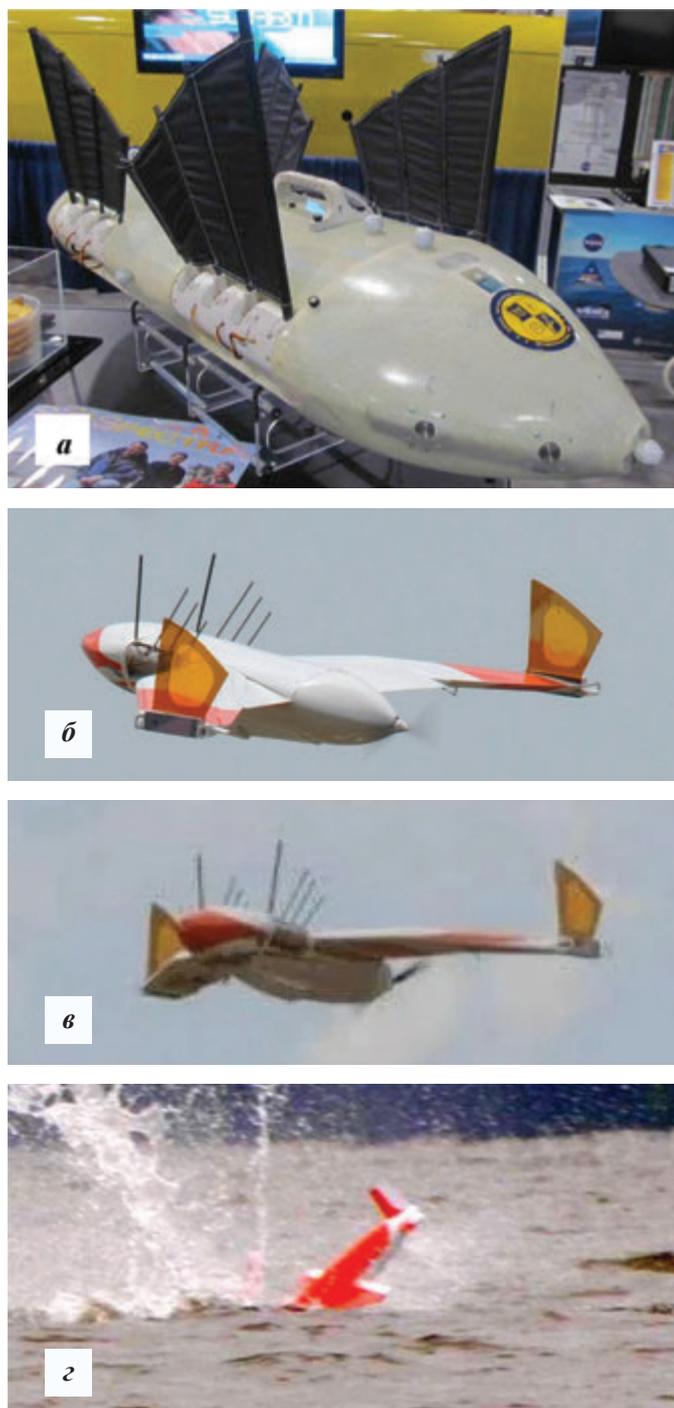


Рис. 1. Двухсредный БПЛА Flimmer:
а – вид спереди в лаборатории; б – вид сбоку в полете; в – вид
спереди в полете; г – вход в воду



Рис. 2. Двухсредный БПЛА Unmanned Hybrid Vehicle

В грузовом отсеке БПЛА могут быть размещены различное оборудование и сенсоры для поиска и обнаружения подводных лодок и выполнения широкого круга задач под водой. В случае обнаружения подводной лодки Flimmer сможет установить слежение за ней не только с воздуха, но и под водой. В случае потери контакта с подводной лодкой БПЛА может снова взлететь в воздух и повторить маневр поиска [3, 4].

Двухсредный БПЛА Unmanned Hybrid Vehicle.

Сингапурская компания ST Engineering разработала БПЛА самолетного типа, способного летать, садиться на воду и плавать под водой (рис. 2). Как сообщает издание Defense News, БПЛА, способный эффективно работать в двух средах, получил название UHV (Unmanned Hybrid Vehicle), т.е. беспилотный гибридный аппарат. БПЛА UHV имеет следующие ТТХ: масса 25 кг; крейсерская скорость полёта 60 км/ч; максимальная скорость полёта 80 км/ч; дальность полёта 20 км; максимальная высота полёта 3100 м; время нахождения в воздухе до 25 мин; скорость под водой 2,6 м/с; глубина погружения 5 м; тип двигателя и силовая установка – электрические, с питанием от АКБ. Корпус БПЛА выполнен из композитных материалов, он имеет один воздушный винт и два гребных винта. При посадке на водную поверхность лопасти воздушного винта складываются, и для движения под водой используются гребные винты. За перевод системы управления движением при переходе из одной среды в другую отвечает бортовой компьютер. В настоящее время компания ST Engineering собрала два прототипа БПЛА UHV, которые прошли испытания в опытовом бассейне. БПЛА проверяли на способность погружаться и плавать под водой. БПЛА UHV может найти применение в военной сфере для ведения разведки и поиска морских мин [5].

3. Двухсредные квадрокоптеры

Двухсредный квадрокоптер Mirs-X, который может одновременно летать в воздухе и плавать под водой, разработали специалисты Гонконгского университета (КНР). Он оснащен четырьмя электродвигателями с воздушными винтами, которые могут расправляться в воздухе (рис. 3). Когда коптер погружается под воду, его воздушные винты поворачиваются таким образом, чтобы он мог маневрировать в воде. Mirs-X оснащен системой управления двигателями, позволяющей им работать в двухскоростном режиме, при этом регулируется частота вращения каждого винта в зависимости от плотности среды, в которой он находится.

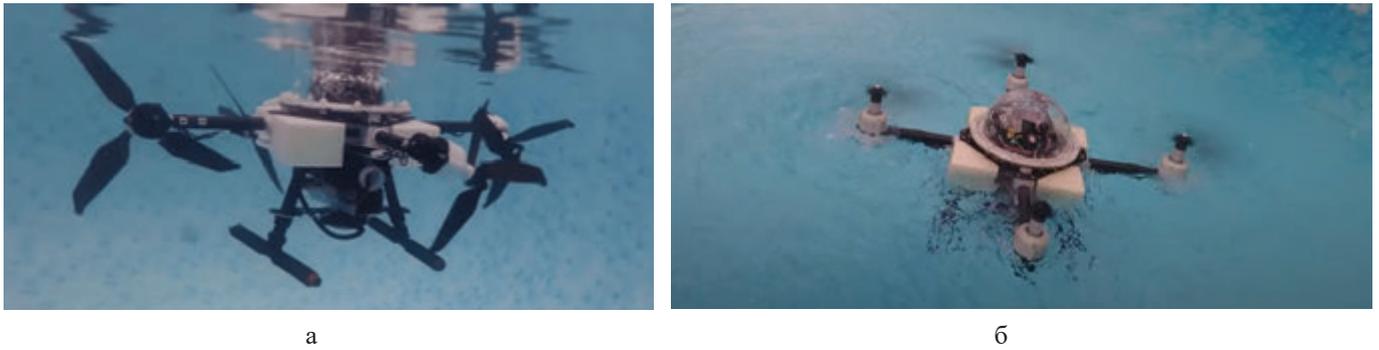


Рис. 3. Двухсредный квадрокоптер Mirs-X в опытном бассейне:
а – движение под водой; б – взлет из-под воды

Под водой двигатели коптера развивают мощность в два раза большую, чем на воздухе, чтобы создавать требуемую тягу, причем, если двигатели остановились из-за неисправности, коптер всплывает сам под воздействием силы положительной плавучести. Двухсредный квадрокоптер Mirs-X имеет следующие ТТХ: масса 1,6 кг; диаметр 0,4 м; глубина погружения 3 м; скорость хода под водой 2 м/с; скорость в воздухе порядка 30 км/ч. Разработчики коптера в настоящее время проектируют полноразмерную версию квадрокоптера Mirs-X, при этом его размер (по окружности) составит 1,8 м. Такие размеры аппарата позволяют не только обнаруживать подводные объекты, но и поднимать их на поверхность [6, 7].

Двухсредный квадрокоптер TJ-Flyingfish (рис. 4) разработан командой специалистов из трех университетов КНР: Шанхайского исследовательского института интеллектуальных автономных систем, Университета Тонгдзи и Исследовательской группы беспилотных систем Гонконгского университета. Он состоит из центрального корпуса и четырех консольных балок, каждая из которых имеет свой двигатель-движительный модуль. Сами же консо-

ли могут поворачиваться относительно корпуса при помощи электроприводов. Когда коптер находится в полете, все четыре консоли поворачиваются пропеллерами в горизонтальную плоскость и вращаются на высокой скорости. После того как коптер садится на воду, консольные балки разворачиваются пропеллерами вниз и моторы переходят в режим пониженной частоты вращения, что позволяет ему погрузиться. Чтобы после погружения перемещаться под водой, коптер переворачивается на угол 90° (см. рис. 4, а), при этом автоматически регулируются угол и тяга каждого двигателя. Двухсредный квадрокоптер TJ-Flyingfish имеет массу 1,63 кг, диаметр 0,38 м; может погружаться на глубину до 3 м, зависать в воздухе в течение 6 мин за один заряд АКБ или двигаться под водой в течение 40 мин со скоростью 2 м/с. Возможные области применения этой технологии включают сбор данных и поиск объектов на земле и в водной среде [8].

Двухсредный квадрокоптер Naviator. Военное ведомство США традиционно проявляет большой интерес к беспилотным системам разного рода. Так, в настоящее время проводятся испытания двухсредно-

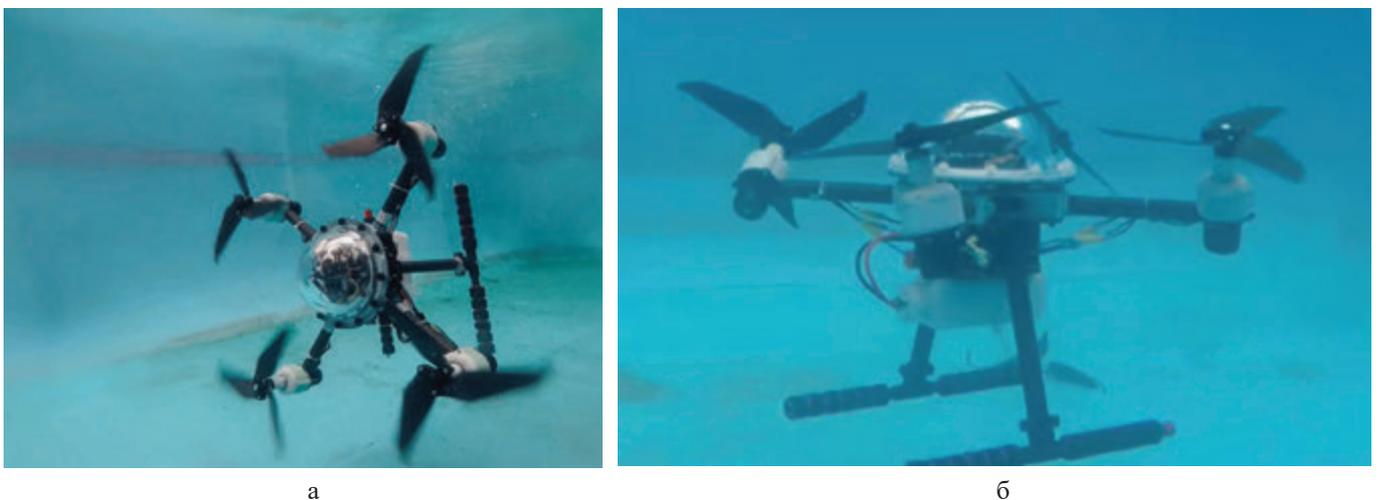
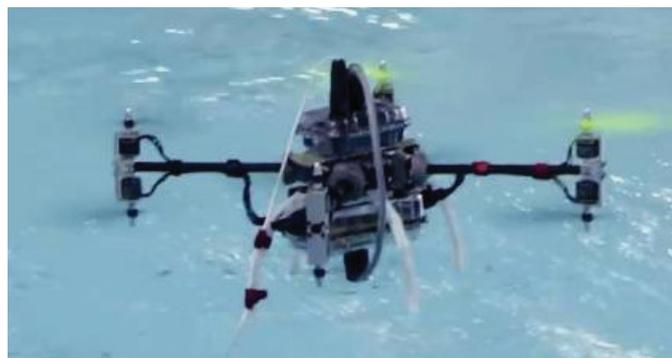


Рис. 4. Двухсредный квадрокоптер TJ-Flyingfish в опытном бассейне:
а – движение под водой; б – готовность к старту из-под воды



а



б

Рис. 5. Двухсредный квадрокоптер Naviator в опытном бассейне:
а – посадка на воду; б – движение под водой

го квадрокоптера Naviator (рис. 5), способного летать по воздуху и двигаться под водой. В начале проект разрабатывался в инициативном порядке специалистами Rutgers University (США), а в 2016 г. перешел в ведение специально созданной компании SubUAS. Проект привлек внимание Управления военно-морских исследований США (Office of Naval Research), которое оказало ему необходимую финансовую помощь. Rutgers University и компания Sub UAS начали демонстрировать экспериментальные образцы двухсредного квадрокоптера в 2016–2017 гг. на разных выставках Пентагона, что позволило в дальнейшем продолжить работы по этому направлению. За счет доработки конструкции и внедрения новых технологий удалось увеличить летные характеристики коптера в воздухе и ходовые параметры в воде, также увеличили продолжительность непрерывной работы и рабочую глубину [9].

В настоящее время управление военно-морских исследований сохраняет интерес к двухсредному квадрокоптеру и планирует его дальнейшую модернизацию. С этой целью была запущена программа SAND (Subsurface Autonomous Naviator Delivery) – автономной подводной доставки Naviator, в ходе которой исследуется реальная совместимость коптера с различными безэкипажными платформами.

Архитектура двухсредного квадрокоптера Naviator (рис. 6) включает центральный корпус, на котором расположены четыре поворотные консольные балки с винтомоторными группами с восемью электродвигателями. В воздухе Naviator работает как обычный квадрокоптер – он способен совершать вертикальный и горизонтальный полет, висеть в воздухе и маневрировать, связь с оператором при этом осуществляется по радиоканалу. Переход к подводному режиму выполняется путем посадки на воду с дальнейшим использованием воздушных винтов в качестве гребных. При этом коптер движется «на бок» для достижения максимальной скорости 5 м/с;

максимальная скорость полёта составляет 40 км/ч; максимальная дальность полёта 2 км; максимальная высота полёта 250 м; время нахождения в воздухе 30 мин; глубина погружения до 30 м [10]. Квадрокоптер Naviator может нести различные полезные нагрузки. Показанные образцы оснащались видеокамерами во внешнем герметичном корпусе. В зависимости от своих размеров и прочих характеристик коптер может получать и иное оснащение. В частности, рассматривается возможность установки различных датчиков и вооружения. Согласно концепции, Naviator может работать с любой платформы-носителя. Перевозить его и обеспечивать полеты/плавание могут автомобили с нужным оснащением, катера и суда и т.д. В рамках проекта SAND планируют проработать возможность его размещения на автономном обитаемом подводном аппарате (АНПА). В перспективе такой подводный комплекс может найти применение в разных областях (рис. 7), рассматривается его использование в целях разведки. АНПА-носитель сможет скрытно выходить на заданный рубеж и выпускать двухсредный квадрокоптер, который будет подниматься над водой и вести наблюдение и т.д. В перспективе Naviator сможет решать и более сложные задачи. Разработчики проекта представили алгоритм работы его противоминной модификации (рис. 8). В этом случае аппарат должен работать под водой и искать опасные объекты, после чего подниматься в воздух и передавать данные противоминным силам.



Рис. 6. Прототип серийного образца двухсредного квадрокоптера

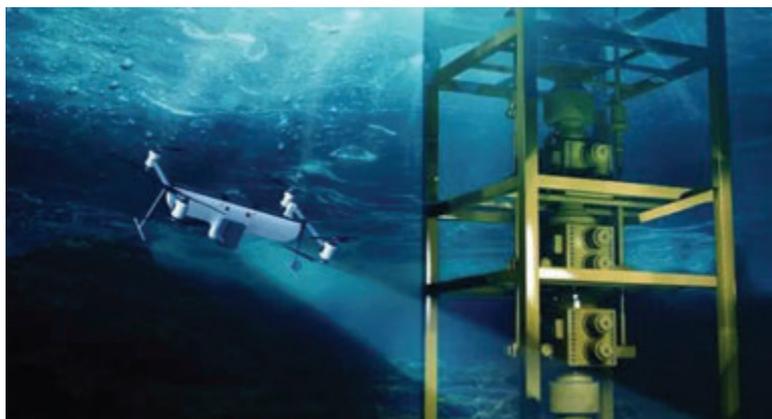


Рис. 7. Возможное применение двухсредного квадрокоптера Naviator для осмотра элементов подводной инфраструктуры

Затем он сможет вернуться под воду и продолжить работу до следующего сеанса связи [10].

Двухсредный квадрокоптер Cracuns. Исследователи из Johns Hopkins University США) разработали двухсредный квадрокоптер, который может несколько месяцев находиться в морской воде без ущерба для своей работоспособности (рис. 9). Рама и детали корпуса квадрокоптера под названием «Cracuns» изготовлены из композитных материалов – это позволяет ему быть устойчивым к коррозии и одновременно быть легким и прочным. Бортовая электроника находится в герметичном контейнере, а из критически важных узлов воздействию воды подвергаются только электромоторы, которые разработчики обработали защитным покрытием. По данным разработчиков, квадрокоптер переносит двухмесячное пребывание в соленой воде, при этом его скорость полёта составляет 20 км/ч; максимальная дальность полёта 2,5 км; максимальная высота полёта 250 м. Он предназначен для запуска с подводной лодки или с донной базовой станции, которая может быть установлена на глубине свыше 60 м. Создатели отмечают, что грузоподъемности коптера хватает для установки дополнительного оборудования, поэтому Cracuns



Рис. 9. Двухсредный коптер Cracuns: а – общий вид; б – посадка на воду; в – старт из-под воды

можно использовать для разведки и сбора данных под водой или в воздухе [11, 12].

Двухсредный квадрокоптер Loon Copter разработан в The University of Auckland (Новая Зеландия). Коптер при погружении заваливается на бок и плоскости вращения винтов становятся вертикальны-



Рис. 8. Возможное применение двухсредного квадрокоптера Naviator для борьбы с минной опасностью

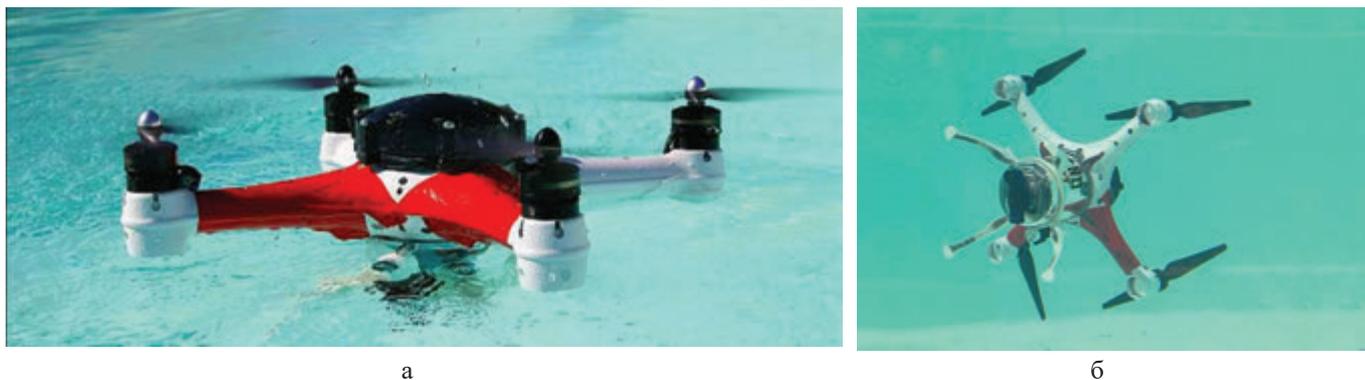


Рис. 10. Двухсредный квадрокоптер «Loon Copter» в опытном бассейне:
а – готовность к старту из-под воды; б – движение под водой

ми, благодаря чему он может передвигаться под водой (рис. 10). Аппарат, получивший название «Loon Copter», способен исследовать затонувшие объекты или заниматься инспекцией подводной инфраструктуры. Двухсредный квадрокоптер Loon Copter летает как обычный квадрокоптер, но он может сесть на воду, заполнить балластную цистерну, завалиться на бок, включить винты и оказаться под водой, где он может использовать фото- и видеоаппаратуру. Его характеристики следующие: максимальная скорость полёта 54 км/ч; дальность полёта 2,5 км; высота полёта 250 м; автономность 40 мин; глубина погружения 3–5 м.

Разработчики ищут новые способы передачи данных из-под воды: это могут быть акустические модемы и буи-ретрансляторы, способные обеспечить потоковое видео. С такими характеристиками коптер можно использовать для выполнения широкого круга задач, в первую очередь для поисково-спасательных операций и инспекции подводных объектов [13].

Герметичный квадрокоптер SwellPro SplashDrone4 (рис. 11) – это уже пятое поколение водонепроницаемых квадрокоптеров, в ко-



Рис. 11. Герметичный квадрокоптер SwellPro SplashDrone4

тором воплощён опыт, полученный компанией SwellPro в течение последних 7 лет. Компания основана в 2014 г. в Шэньчжэне (КНР). Квадрокоптер SwellPro SplashDrone4 имеет водонепроницаемый корпус с защитой от морской воды, водонепроницаемые моторы и электронное оборудование. Внутри коптера все детали имеют антикоррозийное покрытие, он способен поднимать до 2 кг полезной нагрузки, время его полёта составляет 30 мин. Для задач поиска и обследования компанией разработан 3-осевый подвес с тепловизором и камерой ночного видения. Для транспортировки грузов предлагается система сброса груза, которая может быть установлена вместе с видеокамерой, чтобы была возможность контролировать точку сброса груза. Запатентованный режим управления Smooth+ позволяет точно задавать направление движения коптера (крен и рысканье). Новейший цифровой видеопередатчик 5,8 ГГц и регулируемые антенны обеспечивают надёжный и стабильный видеопоток, равно как и сигнал управления, на дистанцию до 5 км. Из-за особенностей распространения электромагнитных волн дальность связи при нахождении коптера на расстоянии 0,5 м над водой составляет 2,8 км, а если он плавает на поверхности – 500 м. На случай, если коптер по какой-либо причине оказался на поверхности воды вверх ногами, разработчики предусмотрели его переворот в нормальное состояние с помощью моторов [14].

4. Концепция автономного необитаемого подводного аппарата – носителя двухсредного квадрокоптера

Перспективы развития технологий двухсредных квадрокоптеров открывают возможность их базирования на автономных необитаемых подводных аппаратах (АНПА), один из вариантов конструкции которого приведен ниже. АНПА, в средней части которого находится отсек квадрокоптера, составляющий с ним единую конструкцию (рис. 12), подключен к системе управления АНПА, вну-

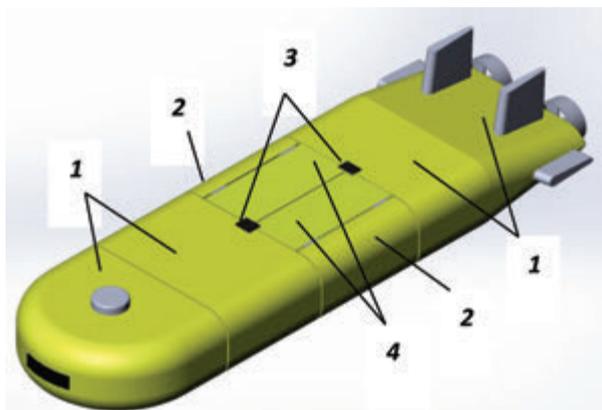


Рис. 12. АНПА – носитель квадрокоптера:
1 – АНПА; 2 – отсек квадрокоптера; 3 – замки створок люка;
4 – створки люка

три отсека находится водонепроницаемый квадрокоптер, в носовой части АНПА расположена шумопеленгаторная станция. Отсек квадрокоптера (рис. 13 и 14) состоит из несущей конструкции, выполненной из алюминиевого сплава, а также наружных и внутренних блоков плавучести, выполненных из сферопластика. Несущая конструкция имеет коробчатую форму с двумя продольными внутренними ребрами жесткости. Блоки плавучести внутри несущей конструкции

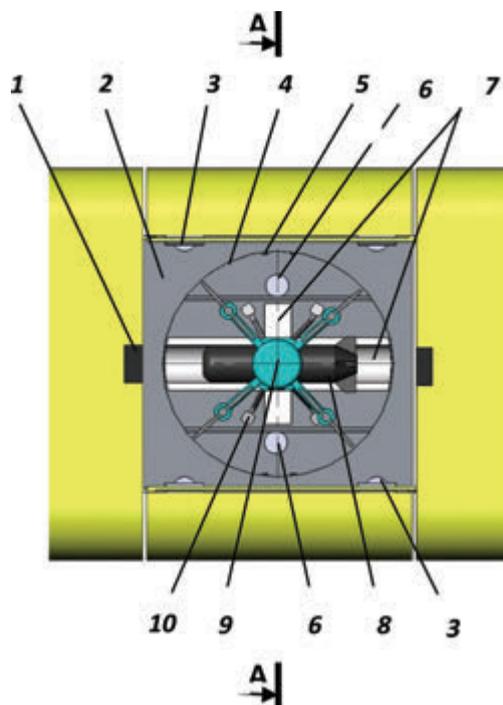


Рис. 13. Отсек квадрокоптера:
1 – замок; 2 – блок плавучести; 3 – шарниры; 4 – «колодец»;
5 – антенна wi-fi; 6 – замки квадрокоптера; 7 – всплывающий
блок плавучести; 8 – блок полезной нагрузки; 9 – квадрокоп-
тер; 10 – посадочная стойка квадрокоптера

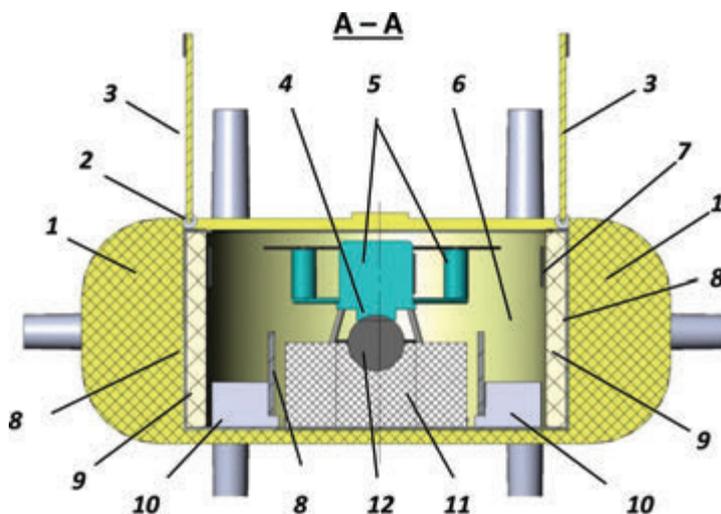


Рис. 14. Поперечный разрез корпуса АНПА:
1 – наружные блоки плавучести; 2 – шарниры; 3 – створки люка; 4 –
держатель полезной нагрузки; 5 – квадрокоптер; 6 – круглый «колодец»;
7 – антенна wi-fi; 8 – продольные силовые связи отсека; 9 – внутренние
блоки плавучести; 10 – замки фиксации квадрокоптера в отсеке; 11 –
всплывающий блок плавучести; 12 – блок полезной нагрузки

образуют нишу в форме круглого «колодца». В нижней части ниши расположены два электромагнитных замка, прикрепленных к продольным ребрам жесткости, предназначенные для фиксации квадрокоптера в отсеке, здесь же расположена передающая антенна wi-fi, связанная с системой управления АНПА [15, 17].

В верхней части отсека квадрокоптера находится люк, состоящий из двух створок, которые на шарнирах, совмещенных с электроприводами (мотор-редукторами), крепятся к несущей конструкции отсека. Створки люка могут находиться в двух положениях: «открыто» и «закрыто» и фиксируются в закрытом положении при помощи двух электромагнитных замков, крепящихся к отсекам АНПА, смежным с отсеком квадрокоптера. Все электроприводы отсека квадрокоптера подключены к электроэнергетической системе и системе управления АНПА [15, 17]. Водонепроницаемый квадрокоптер (рис. 15) выполнен по традиционной аэродинамической схеме. В его внутреннем, герметичном корпусе находится система управления, литий-ионная АКБ и приемная антенна wi-fi, в нижней части корпуса снаружи находится электромагнитный держатель, фиксирующий блок полезной нагрузки на квадрокоптере. В нижней части квадрокоптера, между его посадочными стойками, находится свободно всплывающий отделяемый блок плавучести, предназначенный для подъема квадрокоптера над водой при его взлете из отсека. Работа АНПА – носителя двухсредного квадрокоптера содержит 6 этапов и происходит следующим образом [15, 17]:

Этап подготовки АНПА к выполнению поставленной задачи: на данном этапе на берегу производится подготовка квадрокоптера и его блока полезной нагрузки к работе,

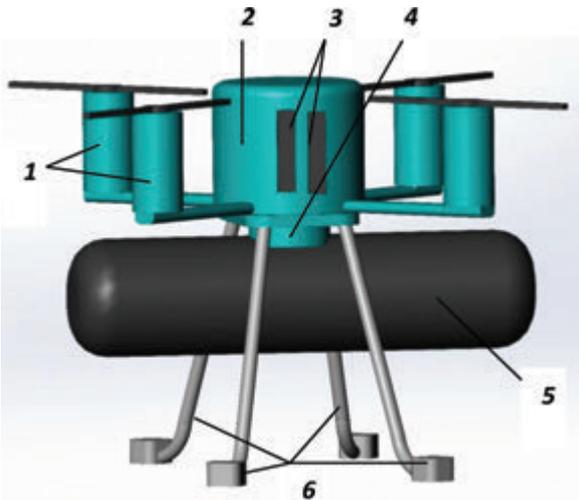


Рис. 15. Двухсредный квадрокоптер:

1 – моторы с пропеллерами на консолях; 2 – герметичный блок аппаратуры и питания; 3 – антенны wi-fi; 4 – держатель полезной нагрузки; 5 – блок полезной нагрузки 6 – стойки

а также производится ввод полетного задания в систему управления квадрокоптером, далее происходит активация электромагнитного держателя и крепление блока полезной нагрузки к квадрокоптеру. Створки люка АНПА находятся в открытом положении. Далее происходит размещение квадрокоптера с блоком полезной нагрузки внутри соответствующего отсека АНПА вместе с отделяемым блоком плавучести и последующая фиксация квадрокоптера в отсеке при помощи электромагнитных замков. Далее по команде створки люка закрываются при помощи мотор-редукторов и фиксируются электромагнитными замками.

Этап погружения АНПА и переход в точку старта квадрокоптера: АНПА доставляют на судне-носителе в точку погружения и вводят в его систему управления программу-задание (миссию), согласно которой аппарат должен пройти по заданному маршруту в подводном положении на глубинах, безопасных по прочности конструкций водонепроницаемого квадрокоптера. Далее АНПА спускают на воду и дают команду на его погружение и начало выполнения миссии, после чего АНПА проходит заданный маршрут с заданной скоростью на заданной глубине согласно программе-заданию. В итоге он прибывает в точку старта квадрокоптера. Во время перехода квадрокоптер находится в спящем режиме в ожидании команды на активацию по wi-fi.

Этап старта квадрокоптера: АНПА в точке старта квадрокоптера всплывает в надводное положение и продолжает движение малым ходом (рис. 16). Система управления АНПА дает команды на открытие электромагнитных замков, фиксирующих створки люка, и на мотор-редукторы для открытия створок

люка. Далее подается команда wi-fi на активацию квадрокоптера согласно его полетному заданию и запуск его двигателей в режиме взлета. После этого подается команда на открытие электромагнитных замков, фиксирующих квадрокоптер в своем отсеке. Под воздействием архимедовой силы отделяемый блок плавучести свободно всплывает вместе с квадрокоптером выше ватерлинии АНПА в надводном положении, а квадрокоптер, набрав взлетную тягу своих моторов, взлетает и приступает к выполнению своего полетного задания. Перед всплытием АНПА при помощи бортовой шумопеленгаторной станции производит анализ шумовой обстановки в районе всплытия и согласно заложенному алгоритму «принимает решение» на всплытие сейчас или на переход в запасной район для всплытия позже. Освободившись от квадрокоптера, система управления АНПА дает команды на мотор-редукторы створок люка на их закрытие и на фиксацию их в закрытом положении при помощи электромагнитных замков. Далее АНПА выполняет маневр погружения на заданную глубину и согласно заложенной миссии возвращается в точку встречи с судном-носителем для доставки на берег и подготовки к следующему походу [15, 17].

Этап перелета квадрокоптера в точку доставки полезной нагрузки: на данном этапе, согласно полетному заданию, квадрокоптер под управлением бортовой системы управления совершает перелет по заданному маршруту на заданных высотах и прибывает в район доставки блока полезной нагрузки.

Этап доставки полезной нагрузки в заданную точку: квадрокоптер, используя программное обеспечение с элементами «искусственного интеллекта», уточняет координаты объекта доставки путем его распознавания по заданным сигнатурам и дает

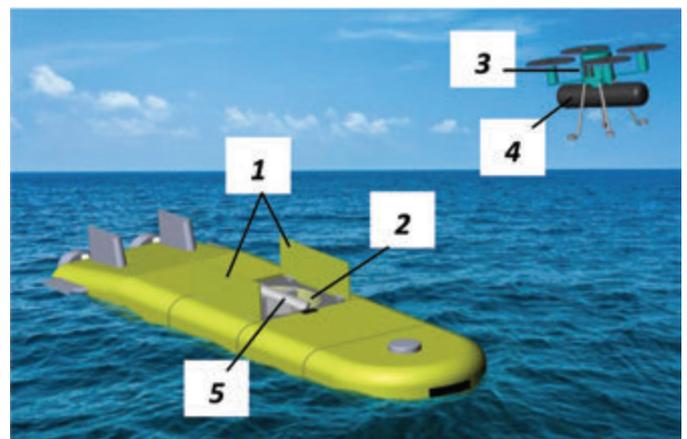


Рис. 16. Взлет двухсредного квадрокоптера с АНПА в надводном положении:

1 – створки люка; 2 – круглый «колодец»; 3 – квадрокоптер; 4 – полезная нагрузка; 5 – всплывающий блок плавучести

команду на срабатывание электромагнитного держателя блока полезной нагрузки, что приводит к сбросу блока на объект и в итоге означает факт успешного выполнения поставленной задачи.

Этап посадки квадрокоптера: квадрокоптер, освободившись от блока полезной нагрузки, согласно полетному заданию совершает перелет в заданный район, где совершает посадку на грунт и ожидает прибытия средств его доставки в тыл для снаряжения к следующей миссии.

5. Заключение

Двухсредность – это очень ценное качество, объединяющее возможности квадрокоптера и автономного необитаемого подводного аппарата. Двухсредный квадрокоптер позволяет обойтись без участия водолазов или АНПА при экстренной необходимости проводить поисковые операции или сбор данных на берегу у уреза воды, а также под водой на малой глубине. В настоящее время успешно развиваются две разновидности этой технологии: двухсредные БПЛА самолетного типа и двухсредные квадрокоптеры. Наиболее известные двухсредные аппараты созданы в КНР, США, Сингапуре и Новой Зеландии.

Явно просматривается военное направление данной технологии, замаскированное под решение научных задач, это:

- решение широкого круга задач разведки;
- поиск и обнаружение морских мин на мелководье;
- поиск, обнаружение и сопровождение подводных лодок;
- поиск, обнаружение и подъем на поверхность малогабаритных объектов;
- обследование подводных сооружений

Носителями двухсредных аппаратов могут быть: корабли, суда и катера; подводные лодки; самолеты и вертолеты; безэкипажные катера и автономные необитаемые подводные аппараты. В перспективе следует ожидать революционного продвижения эффективности морских робототехнических комплексов (в том числе и двухсредных БПЛА), что связано с успехами в области автономных источников энергии. Известная китайская фирма CATL (Contemporary Amperex Technology Company Limited) успешно разрабатывает литий-металлические аккумуляторы, которые, по-видимому, станут преемниками литий-ионных АКБ. Полученный прототип демонстрирует срок службы до 483 циклов заряд–разряд с плотностью энергии свыше 500 Вт·ч/кг [16].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Двухсредные БПЛА. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhsrednye-bespilotnye-letatelnye-apparaty/viewer> (дата обращения 12.11.2025).
2. Двухсредные летательные аппараты: что это? URL: <https://mksegment.ru/d/dvuhsrednye-letatelnye-apparaty-cto-eto> (дата обращения 12.11.2025).
3. Exclusive Content on Unmanned Naval Systems. URL: <http://www.navaldrone.com/FLIMMER.html> (дата обращения 12.11.2025).
4. Flimmer: The Flying, Swimming Drone. URL: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/31247-flimmer-the-flying-swimming-uav> (дата обращения 12.11.2025).
5. Unmanned Hybrid Vehicle at Singapore. URL: <https://www.uasvision.com/2016/02/23/unmanned-hybrid-vehicle-at-singapore/> (дата обращения 12.11.2025).
6. This amphibious robot can fly like a bird and swim like a fish. URL: <https://www.popsci.com/technology/drone-air-water-quadcopter/> (дата обращения 12.11.2025).
7. This drone can soar through the skies and swim like a fish underwater. URL: <https://interestingengineering.com/innovation/DRONE-THAT-FLIES-AND-SWIMS> (дата обращения 12.11.2025).
8. TJ-FlyingFish drone flies through the air and “swims” underwater. URL: <https://newatlas.com/drones/tj-flyingfish-aerial-underwater-drone/> (дата обращения 12.11.2025).
9. Meet the Naviator - A Drone that Can Fly Just as Easily as it Can Swim. URL: <https://www.commercialuavnews.com/public-safety/meet-naviator-drone-can-fly-just-easily-can-swim> (дата обращения 12.11.2025).
10. Kirill Ryabov. The Naviator dual-medium unmanned vehicle enters a new stage of testing. URL: <https://en.topwar.ru/230219-dvuhsrednyj-bespilotnyj-apparat-naviator-perehodit-na-novyj-jetap-ispytaniy.html?ysclid=m9f9tpnqj729626407> (дата обращения 12.11.2025).
11. Cracuns – drone that can operate underwater and in the air. URL: <https://geoawesome.com/cracuns/> (дата обращения 12.11.2025).
12. Amphibious drone hides underwater until it’s go-time. URL: <https://newatlas.com/cracuns-amphibious-drone/42352/> (дата обращения 12.11.2025).
13. Loon Copter drone flies, floats and dives underwater. URL: <https://newatlas.com/loon-copter-amphibious-drone/41485/> (дата обращения 12.11.2025).
14. Водонепроницаемый квадрокоптер SwellPro SplashDrone 4. URL: <https://rcbro.ru/specialnye-reshenija/dlja-rybalki/swellpro/vodonepronicaemuj-kvadrokofter-swel-lpro-splashdrone-4-bez-podvesa/?ysclid=m9f9tpnqj729626407> (дата обращения 12.11.2025).
15. Патент 2850357 РФ, МПК: В63G 8/00 (2025.08). Автономный необитаемый подводный аппарат – носитель водонепроницаемого квадрокоптера : опубл. 11.11.2025, Бюл. 32 / Илларионов Г.Ю., Карпачев А.А., Жолобова С.В. – 14 с.: 7 ил.
16. Голованов Г. В новых литий-металлических батареях CATL плотности энергии – 500 Вт·ч/кг. URL: <https://hightech.plus/2025/05/30/novih-litii-metallicheskih-batareyah-catl-plotnosti-energii-500-vtchkg> – (дата обращения 12.11.2025).
17. В России создали подводный дрон, способный доставлять и запускать БПЛА. URL: <https://cont.ws/@S1601V3006/3158238> – (дата обращения 12.11.2025).

Справка об авторе:

ИЛЛАРИОНОВ Геннадий Юрьевич, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, г. н. с. инновационного отдела

Место работы: Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес места работы: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 5а

Область научных интересов: исследования и разработка морских робототехнических комплексов двойного и специального назначения, а также их носителей и методов практического применения

E-mail: illar1951gy@mail.ru

Тел.: +79147238288

eLibrary Author ID: 331168



TWO-MEDIUM UNMANNED AERIAL VEHICLES AND THEIR CARRIERS

G.Yu. Illarionov

The article discusses one of the modern and promising marine technologies – two-medium unmanned aerial vehicles, which are capable of operating equally well both in the air and in the water. It is proposed to use autonomous unmanned underwater vehicles as their carriers.

Keywords: dual-medium unmanned aerial vehicles (quadcopters), autonomous unmanned underwater vehicles, payloads, and efficiency.

List of sources

1. Two-medium UAVs. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhsrednye-bespilotnye-letatelnye-apparaty/viewer> (accessed on 12.11.2025).
2. Two-medium aircraft: what are they? URL: <https://mksegment.ru/d/dvuhsrednye-letatelnye-apparaty-cto-cto> (accessed on 12.11.2025).
3. Exclusive Content on Unmanned Naval Systems. URL: <http://www.navaldrone.com/FLIMMER.html> (accessed on 12.11.2025).
4. Flimmer: The Flying, Swimming Drone. URL: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/31247-flimmer-the-flying-swimming-uav> (accessed on 12.11.2025).
5. Unmanned Hybrid Vehicle at Singapore. URL: <https://www.uasvision.com/2016/02/23/unmanned-hybrid-vehicle-at-singapore/> (accessed on 12.11.2025).
6. This amphibious robot can fly like a bird and swim like a fish. URL: <https://www.popsci.com/technology/drone-air-water-quadcopter/> (accessed on 12.11.2025).
7. This drone can soar through the skies and swim like a fish underwater. URL: <https://interest.ingengineering.com/innovation/DRONE-THAT-FLIES-AND-SWIMS> (accessed on 12.11.2025).
8. TJ-FlyingFish drone flies through the air and “swims” underwater. URL: <https://newatlas.com/drones/tj-flyingfish-aerial-underwater-drone/> (accessed on 12.11.2025).
9. Meet the Naviator - A Drone that Can Fly Just as Easily as it Can Swim. URL: <https://www.commercialuavnews.com/public-safety/meet-naviator-drone-can-fly-just-easily-can-swim> (accessed on 12.11.2025).
10. Kirill Ryabov. The Naviator dual-medium unmanned vehicle enters a new stage of testing. URL: <https://en.topwar.ru/230219-dvuhsrednyj-bespilotnyj-apparat-naviator-perehodit-na-novyy-jetap-ispytaniy.html?ysclid=mgo8lfjre3782010315> (accessed on 12.11.2025).
11. Cracuns – drone that can operate underwater and in the air. URL: <https://geoawesome.com/cracuns/> (accessed on 12.11.2025).
12. Amphibious drone hides underwater until it’s go-time. URL: <https://newatlas.com/cracuns-amphibious-drone/42352/> (accessed on 12.11.2025).
13. Loon Copter drone flies, floats and dives underwater. URL: <https://newatlas.com/loon-copter-amphibious-drone/41485/> (accessed on 12.11.2025).
14. Waterproof Quadcopter SwellPro SplashDrone4. URL: <https://rcbro.ru/spe-cialnye-reshenija/dlja-rybalki/swellpro/vodonepronicaemyj-kvadrokopter-swel-lpro-splashdrone-4-bez-podvesa/?ysclid=m9f9tpnq nj729626407> (accessed on 12.11.2025).
15. Patent 2850357 of the Russian Federation, IPC: B63G 8/00 (2025.08). Autonomous Uninhabited Underwater Vehicle Carrying a Waterproof Quadrocopter: Published on November 11, 2025, Bulletin No. 32 / Illarionov G.Yu., Karpachev A.A., Zholobova S.V. – 14 p.: 7 ill.
16. Golovanov G. In the new CATL lithium-metal batteries, the energy density is 500 Wh/kg. URL: <https://hightech.plus/2025/05/30/v-novih-litii-metallicheskih-batareyah-catl-plotnosti-energii-500-vtchkg> – (accessed on 12.11.2025).
17. Russia has developed an underwater drone capable of delivering and launching UAVs. URL: <https://cont.ws/@S1601V3006/3158238> – (accessed on 12.11.2025).

Information about the author

ILLARIONOV Gennady Yurievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher of the Innovation Department

Name of institution: Institute for Problems of Marine Technologies named after Academician M.D. Ageeva Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

Work address: 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5a.

Research Interests: research and development of dual- and special-purpose marine robotic systems, as well as their carriers and methods of practical application.

E-mail: illar1951gy@mail.ru

Phone: +79147238288. **eLibrary Author ID:** 331168

Recommended citation:

Illarionov G.Yu. TWO-MEDIUM UNMANNED AERIAL VEHICLES AND THEIR CARRIERS. Underwater investigations and robotics. 2026. No. 1 (55). P. 69–79. DOI: 10.37102/1992-4429_2026_55_01_07. EDN: YIDUMI.