

УДК 623.983

Об увеличении ресурсов автономных подводных аппаратов путем применения источников морской среды и изменения конструкции

В.М. Шкинев, О.А. Сапрыкин, В.Н. Носов

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

On increasing resources of the autonomous underwater vehicles using the marine environment sources and the vehicle design

V.M. Shkinyov, O.A. Saprykin, V.N. Nosov

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences

Рассмотрена возможность увеличения энергетического ресурса автономных подводных аппаратов за счет источников морской среды (растворимых в воде газов, газогидратов) с получением водорода для электрических батарей. Предложена конструкция автономного подводного аппарата, основанная на эффектах кавитации, в которой использованы сопло Лаваля, мембраны и фотохимическое разложение газов, например сероводорода, с целью получения водорода. Выполнена оценка увеличения запаса хода автономного подводного аппарата, обеспечиваемого извлекаемым из воды водородом. Повышение запаса хода может составлять несколько сотен километров (сотни морских миль). Помимо подвижных автономных подводных аппаратов предложено создавать стационарные электростанции на глубине, действующие на аналогичных принципах работы. В случае стационарных электростанций для вращения лопастей импеллера предположено применять восходящие водные потоки с морских глубин. Стационарные электростанции могут обеспечивать подзарядку дронов типа автономного подводного аппарата водородом или непосредственно электричеством. Сочетание подводных аппаратов-дронов и электростанций на глубине обеспечит комплексное изучение морского дна и охрану важных подводных объектов.

EDN: WRHGYQ, <https://elibrary/wrhgyq>

Ключевые слова: автономный подводный аппарат, диссоциация сероводорода, водородные топливные элементы, металлгидридный аккумулятор, энергетические установки, стаи автономных подводных аппаратов

The paper considers a possibility of increasing the autonomous underwater vehicle power resource using the marine environment sources (water-soluble gases and gas hydrates) and resulting in the hydrogen production for the electric batteries. It proposes a design for the autonomous underwater vehicle based on the cavitation effects, where Laval nozzle, membranes and gas photochemical decomposition (for example, hydrogen sulfide) are used to produce hydrogen. Estimates of increase in the cruising range of an autonomous underwater vehicle are provided with the hydrogen extracted from water. Increase in the cruising range could reach several hundred kilometers (hundreds of nautical miles). In addition to the mobile autonomous underwater vehicles, the paper proposes to create stationary power plants at depth; they would be functioning on the similar operation principles. In case of the

stationary power plants, introduction of the rising water flows from the sea depth is proposed to rotate the impeller blades. The stationary power plants could be able to provide recharging of drones such as the autonomous underwater vehicles with hydrogen or directly with electricity. Combination of underwater drones and power plants at depth would make it possible to comprehensively study the seabed and protect the important underwater objects.

EDN: WRHGYQ, <https://elibrary/wrhgyq>

Keywords: autonomous underwater vehicle, hydrogen sulfide dissociation, hydrogen fuel cells, metal hydride battery, power plants, swarms of autonomous underwater vehicles

Автономные подводные аппараты (АПА) широко применяют при исследовании внешней среды, космоса, в военном деле и других областях. Продолжительность работы АПА во многом зависит от силовой установки на борту [1]. Лучшие результаты получены при использовании ядерных установок, но они являются сложными, дорогостоящими и опасными при разрушении аппарата.

Самые экономичные силовые установки — электрические литиевые батареи и водородные элементы, где в качестве горючего выступают водород и окислитель кислорода. Водородные топливные элементы (ВТЭ) можно использовать и для бортового питания самолетов, космических аппаратов, морских судов и крупных грузовиков.

Источниками бортового питания могут быть SOFC-топливные элементы (Solid Oxide Fuel Cell) — твердооксидные топливные элементы. Их особенностью является генерирование электроэнергии за счет непосредственного окисления топлива (водорода), причем они имеют твердый оксидный или керамический электролит [2].

Морские энергетические установки (ЭУ), вырабатывающие электроэнергию благодаря морским ресурсам (течению, энергии волн), основаны на использовании подводных морских течений (винтовые системы). Эти ЭУ способны вырабатывать значительное количество электроэнергии. Однако они, как правило, требуют больших затрат при строительстве, являясь довольно крупными (и заметными) морскими объектами со значительными эксплуатационными расходами и потерями электроэнергии при ее передаче потребителю.

Кроме того, эффективность подводных ЭУ такого типа во многом зависит от погодных условий, времени суток (приливов/отливов). Поэтому целесообразно рассмотреть возможность использования аккумуляторных батарей и водородных элементов (водородных батарей).

Пьезоэлементы (с преобразованием механической энергии в электрическую и обратно), термоэлектрические элементы (с прямым преобразованием теплоты в электрическую энергию — эффект Зеебека, или с обратным преобразованием электрического тока в теплоту — эффект Пельтье) и другие источники пока не нашли широкого применения.

Топливные элементы в авиации и космонавтике. В 2006 г. производители топливных элементов совместно с Европейским агентством авиационной безопасности (EASA) начали разрабатывать стандарты сертификации таких элементов для самолетов.

Корпорация Airbus выступает координатором европейского проекта New Configured Aircraft (CELINA), направленного на снижение массы и размеров ВТЭ мощностью 400...600 кВт. Пассажирский самолет Airbus A330-300 вырабатывает 40 % электроэнергии в ВТЭ. Разработчикам поставлена цель — увеличить это количество до 60 %.

Первые летные испытания установки для бортового питания на ВТЭ мощностью 20 кВт проведены корпорацией Airbus в феврале 2008 г. на самолете Airbus A320.

Использование силовых установок на ВТЭ в самолетах позволит уменьшить уровень шума, потребление топлива и выбросы экологически опасных газов.

Компания Boeing также разрабатывает SOFC-топливные элементы для бортового питания. Силовая установка мощностью 440 кВт обеспечит сокращение потребления керосина на 75 % во время стоянки на земле.

В марте 2008 г. во время экспедиции STS-123 шаттла Endeavour ВТЭ производства компании UTC Power преодолен рубеж в 100 000 операционных часов в космосе. ВТЭ производят энергию на борту космических шаттлов с 1981 г., включая советский космический корабль «Буран».

Топливные элементы в морской промышленности. В морской промышленности Ballard Power Systems — ведущий международный поставщик топливных элементов с протонообменными мембранами — совместно с корпорацией ABB и компанией Hydrogène de France, специализирующейся на водородных технологиях, намерен использовать технологические возможности для производства многомегаваттных энергоустановок на ВТЭ для морских судов.

Для внедрения ВТЭ в морской транспорт в Европе в 2003 г. создан консорциум FellowSHIP (Fuel Cells for Low Emissions Ships) [2], в состав которого вошли компании Det Norske Veritas (DNV), Eidesvik Offshore, MTU CFC Solutions, Vik-Sandvik и Wärtsilä Automation Norway. Сформирован консорциум Fuel Cell Boat BV, включающий в себя компании Alewijnse, Integral, Linde Gas, Marine Service North и Lovers.

Создана некоммерческая ассоциация водорода и топливных элементов на морском транспорте (Marine Hydrogen & Fuel Cell Association MHFCA), в состав которой вошли 120 организаций. Цели ассоциации: разработка планов применения водорода на морском транспорте, установление контактов для совместных исследовательских проектов, определение приоритетов развития, преодоление барьеров, разработка кодов, стандартов и правил использования водородных технологий в морских приложениях. Исландия планирует перевести на водород все рыболовецкие суда. Для производства водорода будут использованы геотермальная энергия и энергия гидроэлектростанций.

Компания ABB поставила гибридный силовой агрегат на основе ВТЭ с нулевым уровнем выбросов для финского исследовательского судна Aranda, являющегося частью финансируемого Европейским союзом проекта Maranda. При проведении измерений на исследовательских судах необходимо отключать главные двигатели, чтобы минимизировать шум, вибрацию и загрязнение воздуха.

Система генерации энергии на основе ВТЭ компании ABB мощностью 165 кВт продолжает обеспечивать питание системы динамического позиционирования и электрического оборудования Aranda во время измерений. Компания ABB разрабатывает силовую и двигательную установки на ВТЭ в рамках поддерживаемой Европейским союзом программы Flagships для грузового судна Zulu. Программа Flagships

предполагает создание коммерческих судов для внутренних речных и коротких морских операций с нулевым уровнем выбросов.

В Германии выпускают подводные лодки класса U-212 с ВТЭ производства Siemens AG. Эти лодки стоят на вооружении Германии, поступили заказы из Греции, Италии, Кореи и Израиля. Под водой лодка работает на водороде и практически не производит шумов.

Испанская судостроительная компания Navantia, S.A. планирует начать производство подводных лодок класса S-80 с силовыми установками на ВТЭ типа PEM мощностью 300 кВт. Водород получают на борту подводной лодки из этанола. Поставщик ВТЭ — компания UTC Power (США). Подводные лодки S-80 предназначены для охраны побережья. Применение ВТЭ позволит сократить уровень шума и увеличить время нахождения под водой.

В Европе разработан пассажирский корабль Zemships, способный перевозить 100 человек, снабженный электродвигателем мощностью 100 кВт, двумя ВТЭ компании Proton Power Systems plc мощностью по 50 кВт и аккумуляторными батареями. Эксплуатация корабля Zemships началась летом 2008 г.

На основании изложенного можно заключить, что данное направление является перспективным и в него вложены значительные финансовые средства. Активно развивается использование таких систем в подводных аппаратах.

Особенно перспективными являются АПА, которые могут перерабатывать в источники энергии компоненты внешней среды (природные воды, растворимые в водах газы, другие вещества, атмосферу и др.), гравитационные, электрические и магнитные поля. Однако содержание таких природных компонентов, способных заменить топливо, обычно невелико, поэтому их использование, как правило, технологически затруднено и считается не совсем выгодным экономически.

Представляется логичным искать решения в направлении совмещения процессов извлечения ценных топливных и окислительных компонентов из внешней среды с основной деятельностью АПА, а также за счет главной силовой установки.

Основное внимание обращено на использование растворимых в воде газов, например сероводорода, и частично воды для получения водорода, а также кислорода из поверхностных

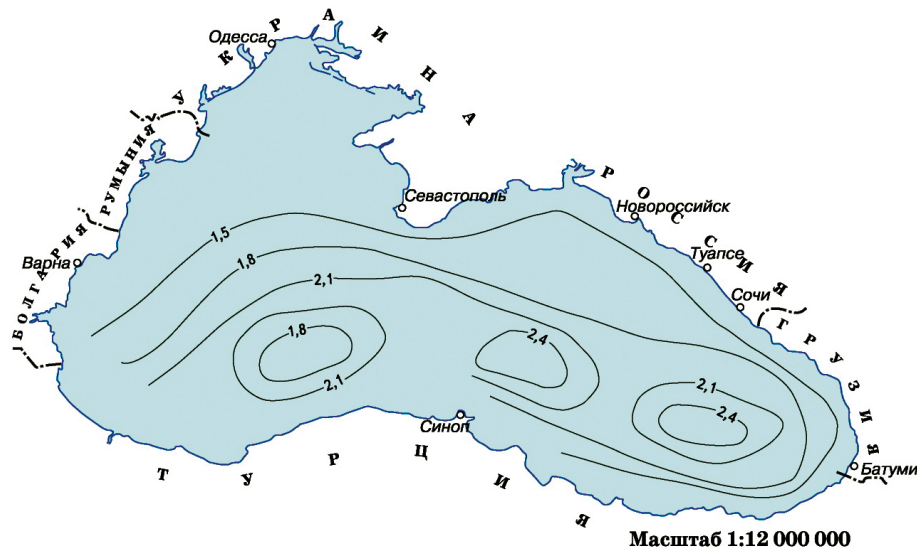


Рис. 1. Распределение концентрации сероводорода, мг/л, в воде Черного моря на глубине 300 м

морских вод. Эти процессы, в частности мембранные процессы выделения сероводорода [3] и его последующего разложения на водород и серу, изучены не полностью [4]. Новым является применение кавитационных процессов выделения сероводорода с помощью сопла Лавала [5–7]. В работе [8] этот процесс использован для получения кавитационных алмазов из водно-спиртовой среды.

Цель работы — оценка получения в морской воде растворенных водородсодержащих газов (в частности сероводорода) и последующего извлечения из них водорода для приобретения дополнительной энергии на борту, расходуемой на дополнительный запас хода (в подвижном морском средстве) или накапливаемой на глубине (в стационарных подводных платформах).

Оценка ресурса в виде резерва хода АПА.

Средняя концентрация сероводорода в воде Черного моря зависит от глубины и географической точки. На глубине 150...500 м она колеблется в диапазоне 0,5...5,7 г/м³ (рис. 1) [9].

Основная ЭУ для среднего АПА использует около 50 г водорода на 10 км. Такой вес водорода содержится в 850 г сероводорода. Концентрация сероводорода растет с глубины 150 м, составляя 0,19 г/м³ морской воды, достигая максимального значения (9,6 г/м³ воды) на глубине около 1500 м.

Для выделения такого объема газа в среднем следует пропустить более 85 м³ воды при максимальной концентрации сероводорода на глубине 1500 м и до 4250 м³ воды на глубине 150 м

(при 100%-ной эффективности ЭУ). Такой объем воды можно пропустить через водометную установку при диаметре 0,3 м и скорости хода 5 узлов (около 10 км/ч) примерно за 1 ч хода для максимальной концентрации сероводорода или за 21 ч хода при минимальной. Таким образом, можно восстановить ресурс (запас хода) силовой установки до исходного состояния в реальное время — за счет движения самого же АПА. Все это показывает перспективность развития подобных систем.

Результаты расчетов в виде зависимости приобретенного за один час работы резерва хода АПА путем накопления на борту водорода от глубины его погружения в воде Черного моря приведены на рис. 2. Видно, что резерв хода может составлять несколько сотен километров, что является существенным фактором для АПА.

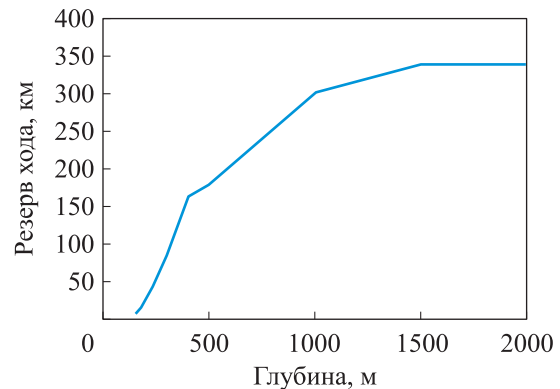


Рис. 2. Зависимость приобретенного за один час работы резерва хода АПА от глубины Черного моря (диаметр импеллера водомета — 30 см, средняя скорость движения АПА — около 5 узлов)

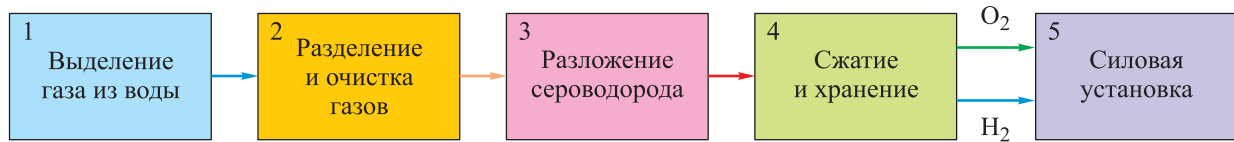


Рис. 3. Блок-схема АПА

Причем этот резерв остается возобновляемым как при движении АПА, так и при его практически полной физической остановке на глубине и работающем нагнетателе морской воды.

Конструкция АПА. Рассмотрим основные узлы АПА, блок-схема которого приведена на рис. 3.

Блок 1. Для выделения газа использована кавитирующая воду насадка в виде сопла Лавая. Возможны различные варианты расположения и конструкции этого блока, например, в виде прямоточной установки в основном водометном движителе. В этом случае вся вода проходит через сопло или через каскад сопл. Также часть потока может быть направлена в отдельное сопло для выделения газов.

Конструкция определяется содержанием газов в воде или необходимым временем для набора газа в АПА. На этой стадии выделяются все газы, которые содержатся в воде (сероводород, кислород, углекислый газ, азот и др.). Схема размещения сопла в АПА приведена на рис. 4.

Блок 2. Выделение газов из газопаровой смеси происходит за счет использования на первом этапе неселективных мембран, которые отделяют только воду. При необходимости газы могут дополнительно очищаться на гидрофобных осушителях и направляться на селективное мембранное выделение таких газов, как сероводород, кислород, углекислый газ и азот.

Блок 3. Выделенный сероводород поступает на фотохимическое разложение на водород и серу. После фильтрации и дополнительной очистки газ проходит в компрессор для сжатия и хранения в баллоне.

Блок 4. Здесь все газы сжимаются и хранятся в баллонах для дальнейшего использования,

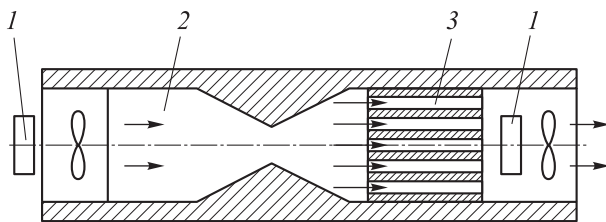


Рис. 4. Схема размещения сопла в АПА:
1 — насос; 2 — сопло Лавая; 3 — водопротускные трубы

например для изменения плавучести АПА в случае увеличения нагрузки при дополнительном навесном оборудовании или транспортировании пловцов. Избыточное количество водорода связывается в металл-гидридных аккумуляторах и там же хранится.

Внешний вид АПА, показанный на рис. 5, во многом определяется задачами, для решения которых его создают. Основной задачей является наблюдение за внешней средой, охрана портовых акваторий, трубопроводов и каналов (кабелей) связи, выявление мин и других взрывчатых объектов, возможность транспортирования подводных пловцов и скрытная установка мин. Поэтому основными качествами АПА должны быть бесшумность, незаметность, мобильность и значительный резерв хода.

Предлагаемый АПА не имеет твердого корпуса. Материал корпуса — резина, армированная стекловолокном. Помимо малой шумности такой материал корпуса позволяет АПА долго функционировать в химически агрессивной для металлов сероводородной среде. Каркас состоит из армированных с двух сторон пластиком алюминиевых труб, корпус — из носовых и кормовых отсеков для регулирования плавучести АПА по вертикали.

Для управления движением в горизонтальной плоскости использованы килевые пласти-

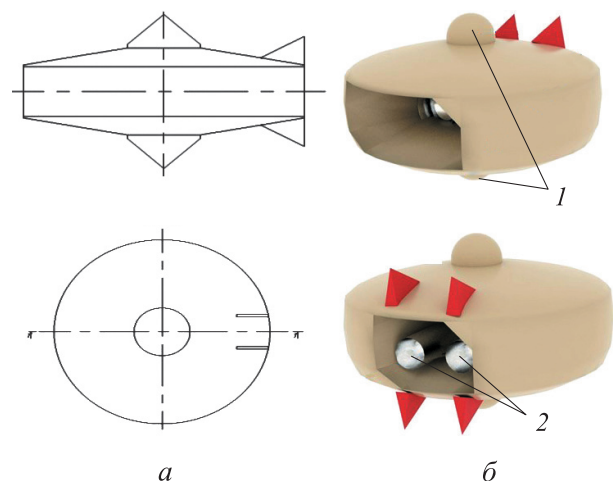


Рис. 5. Схемы (а) и внешний вид (б) АПА:
1 — видеокамеры полного обзора; 2 — водометные трубы

ны в корме АПА. Вода поступает в отсеки через обратные клапаны, а газ — из баллонов под давлением.

Водометная труба также изготовлена из алюминия с армированием полимером или стекловолокном. На конструктивных выступах размещены видеокамеры полного обзора. С их помощью АПА осуществляет обзор контролируемого пространства, донных объектов (трубопроводных, кабельных коммуникаций и др.). С правой и левой сторон от водометной трубы расположены крепления для дополнительного оборудования для магнитного и радиационного наблюдения, гондол для пловцов.

Конструкция ЭУ. Предполагаем, что АПА будут эксплуатироваться как в автономном режиме, так и в режиме стаи — взаимодействующей на глубине группировки АПА. Стаи АПА способны решать различные задачи, такие как одновременное изучение значительных площадей подводного дна, охрана протяженных подводных трубопроводов и охрана портовых акваторий. Однако для их энергоснабжения необходимо иметь ЭУ в зоне работ или на доступном для АПА расстоянии. Возможны как донные ЭУ, так и водные ЭУ.

Внешний вид водной ЭУ показан на рис. 6. В состав ЭУ входят винты, вращаемые восходящими потоками воды, водометные движители, компрессоры, система разделения газов (сепараторы), аккумуляторные батареи, система

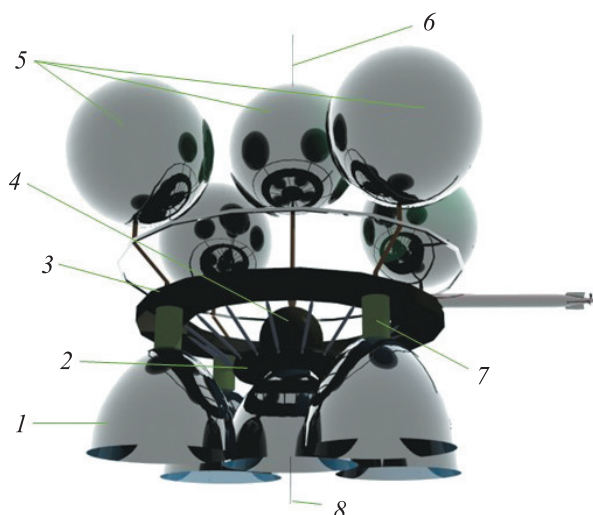


Рис. 6. Внешний вид водной ЭУ:

1 — первичные сепараторы; 2 — турбогенератор; 3 — круговой причал с аккумуляторными; 4 — генератор водорода; 5 — емкости-поплавки с газообразным водородом; 6 — кабель-трубка к бую с воздушным клапаном; 7 — вторичные сепараторы; 8 — якорный канат

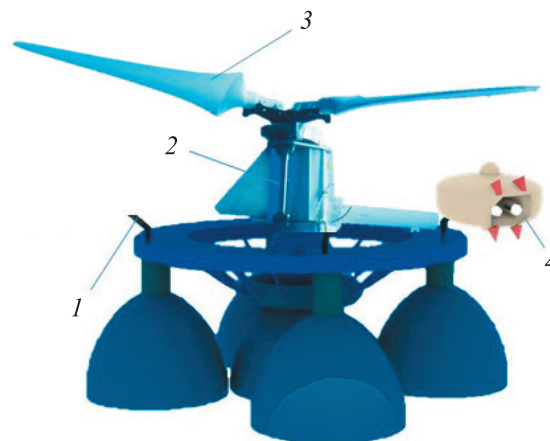


Рис. 7. Внешний вид донной ЭУ:

1 — причалы дозаправки АПА водородом или подзарядки электроэнергией; 2 — первичный генератор электроэнергии; 3 — флюгерный винт (вращаемый восходящими течениями); 4 — АПА

для швартовки АПА, система обмена аккумуляторными батареями или баллонами с водородом и другое оборудование.

Внешний вид донной ЭУ показан на рис. 7. Желательно, чтобы донная ЭУ находилась в районах с восходящими потоками воды или с минимальными течениями. Это необходимо, чтобы АПА не сносило при швартовке к ЭУ, для чего предлагается использовать относительно легкие конструкции ЭУ. Достоинства таких конструкций заключаются в простоте монтажа и возможности быстрого перемещения ЭУ.

Задача получения водорода на борту АПА и ЭУ. Эту задачу решает блок 3 АПА (см. рис. 4) или сепараторы и генераторы водорода на борту подводной ЭУ. Известны следующие методы диссоциации сероводорода: термический, плазмохимический, радиационный, фотохимический и кавитационный. Результаты сравнения методов диссоциации сероводорода приведены в таблице.

Наиболее изученными являются термо- [10] и фотодиссоциации [11]. Плазмохимический и радиационный методы апробированы на лабораторных установках [12, 13]. Кавитационный метод реализован на примере переработки мазута в газовые конденсаты в дизель-бензиновые дистилляты [14]. Применительно к сероводородным смесям его пока не использовали, но теоретически такое направление исследований представляется перспективным, так как кавитационные системы очистки воды — самые энергосберегающие из всех применяемых.

Результаты сравнения методов диссоциации сероводорода

Метод	Достоинства	Недостатки	Примечание
Термический	Технологическая простота. Возможность сжигания сероводорода в качестве топлива (процесс Клаусса) до 1/3 от общей массы. Степень конверсии может составлять до 100 %	Для полной диссоциации необходима высокая температура (1690 °С). Процесс диссоциации становится заметным лишь при температуре более 400 °С. В случае использования процесса Клаусса с паром в окружающее пространство выделяются вредные попутные газы, которые требуют дорогостоящей очистки. Степень конверсии зависит от температуры	Можно сочетать с фотохимической и термической диссоциациями
Плазмохимический	Возможность получения полимерной серы. Степень конверсии может достигать 100 %	Технологическая сложность: требуются СВЧ-генераторы, адсорбенты и процедуры их восстановления. Не установлены опорные цифры для расчета производительности установок (технология апробирована на лабораторных установках)	Можно сочетать с термической диссоциацией
Радиационный	Возможность использования в атомной энергетике в качестве «попутной» технологии. Относительно небольшие рабочие температуры (от 25 до 200...250 °С)	Требуются дозы облучения $(2,5 \dots 3,0) \cdot 10^{17}$ эВ/см ³ . Это может вызвать экологически негативные последствия. Дозу можно снижать при условии применения катализаторов типа Al ₂ O ₃ (это расходный компонент). Степень конверсии составляет около 50 %	–
Фотохимический	Технологическая простота. Возможность выделения водорода напрямую — без образования газообразного H ₂ S, являющегося гальванически активным веществом, увеличивающим коррозию металлов	Степень конверсии составляет примерно 13 %: лишь 13 % объема радикалов образуют водород, 87 % реагируют с регенерацией молекул H ₂ S и образованием серы	Можно сочетать с термической диссоциацией
Кавитационный	Технологическая простота. Кавитация вызывает и газовыделение, и диссоциацию сложных газов на составляющие, т. е. охватывает и процесс извлечения H ₂ S, и его переработку. Энергосберегающая технология	Малая изученность. Противоречивость в понимании физических теоретических основ кавитации	–

Так как на борту компактного АПА довольно сложно реализовывать высокие температуры и СВЧ-технику, а использование радиационного воздействия при автономном функционировании АПА является небезопасным, рассмотрим варианты фотохимического и кавитационного методов диссоциации сероводорода.

Оценим энергозатраты на выделение сероводорода из морской воды с частичным разложением ультрафиолетовым (УФ) излучением на водород и серу (с помощью метода фотодиссоциации). Облучение 28,3 кг сероводорода в течение часа потребует 0,8 кВт·ч энергии УФ-излучения ртутными лампами. С учетом поглощения части УФ-излучения молекулами воды и примесей, коэффициент полезного действия процесса в целом составит 3...5 % (вместо 13 % для лабораторных условий, см. таблицу). Соответственно, этот процесс может обеспечить выход 0,05 кг водорода — вариант рассматриваемого АПА. Оценочная мощность УФ-излучателей (ртутных ламп) — 0,8 кВт. Это вполне укладывается в требования к компактному АПА, включая запас хода.

Вариант с кавитационной диссоциацией еще более интересен, так как кавитатор (в частности, кавитационная насадка) уже присутствует в конструкции АПА (см. рис. 3, блок 1). При этом кавитация при переработке жидких сред позволяет получить существенный энерго- и ресурсосберегающий эффекты (до 30 %) относительно других методов очистки переработки [15]. Над этим методом предстоит дальнейшая работа, поскольку потребуются лабораторные исследования.

Использование накопителей водорода. АПА должен иметь возможность останавливаться, переходить в режим ожидания активной работы под водой, всплывать икратно ускоряться в определенные моменты времени. Для этого на борту должно быть запасено достаточное количество водорода. Часть добытого под водой водорода используется в газообразном виде как газ для дифферентовки АПА.

Но основная часть водорода хранится в связанном виде — в металл-гидридных аккумуляторах. Возможности таких аккумуляторов достигают 530 л водорода на 1 литр металл-гидридного раствора, в котором этот водород содержится. В металл-гидридных аккумуляторах можно осуществлять полную зарядку или

разрядку неограниченное количество раз. При этом они в 3–4 раза легче традиционных электрохимических аккумуляторов, созданных на базе NiCd, LiOH или AgZn при сопоставимой мощности.

Особенно важным представляется, что передовые разработки металл-гидридных аккумуляторов появляются именно в России, что свидетельствует о наличии соответствующей школы ученых и инженеров [16]. В частности, интересны разработки [17, 18].

Известны и российские производители таких водородных аккумуляторов. Компания ООО «ГИДРОГЕНИУС» разработала отечественный металлгидридный аккумулятор водорода H2store-1000 из сплава лантана, никеля и церия с емкостью по водороду 1000 л [19].

Техническая характеристика металлгидридного аккумулятора водорода H2store-1000

Чистота водорода, % об.	99,9999
Емкость по водороду при нормальных условиях, л	1000
Высота × диаметр, мм	400 × 110
Рабочее давление при температуре 20 °С, МПа	0,2...0,4
Рабочая температура, °С	10...50
Максимальный расход водорода при температуре 20 °С, л/ч	Не более 15
Давление зарядки, МПа	20
Время зарядки при давлении 20 МПа и температуре 20 °С, ч	10
Количество циклов зарядки–разрядки	3000
Масса, кг	Не более 9

Область возможного применения АПА. На рис. 8 приведена карта постоянных и периодически появляющихся зон в океане, где зарегистрированы аномальные анаэробные зоны с избытком кислорода или сероводорода [9]. В северном полушарии это Черное море, впадины Кариако (Карибское море), Орка (Мексиканский залив), Красного и Балтийского морей, норвежские фиорды, залив-фиорд Сааниш (Британская Колумбия), залив Кариако, Калифорнийский шельф, районы Аравийского моря и Оманского залива, а также периодически возникающие анаэробные зоны ряда эстуариев и островных заливов. Мощность анаэробных зон в разных районах меняется от нескольких десятков метров до 1000 м.

Видно, что в Мировом океане достаточно много зон для потенциального применения

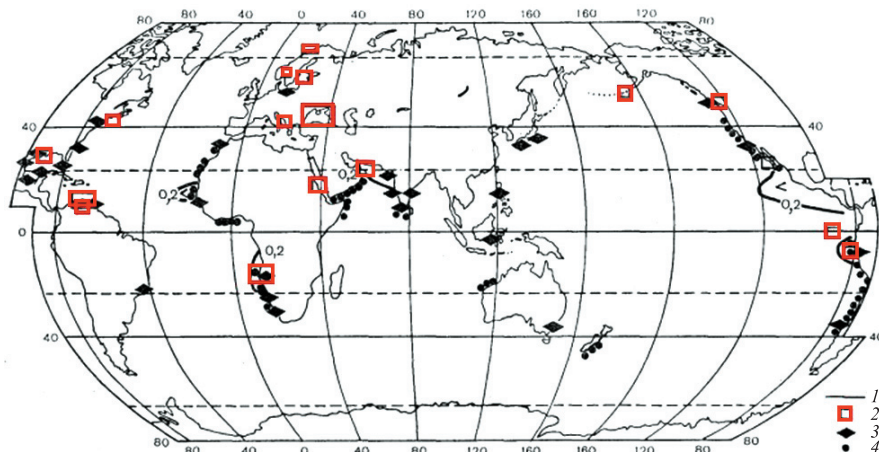


Рис. 8. Схема расположения постоянных и периодически появляющихся анаэробных зон в океане:
1 — концентрация кислорода, ‰ по объему; 2 — сероводородные и анаэробные зоны;
3 — районы массовых замороз рыб; 4 — апвеллинги

АПА предлагаемого типа, включая отдаленные от России акватории.

Выводы

1. Предложены принцип работы и конструкция АПА для получения дополнительного резерва хода с использованием растворенных в воде газов — вплоть до полного (безостановочного) барражирования в заданной акватории Черного моря (и в ряде других акваторий Мирового океана, где также присутствует сероводород). Приобретаемый ресурс (резерв) хода АПА может составлять несколько сотен километров.

2. Предложенная конструкция легкого АПА может выполнять следующие функции:

- наблюдение за внешней средой;
- охрана портовых акваторий;
- охрана трубопроводов и каналов (кабелей)

связи;

- выявление мин и других взрывчатых объектов;

- транспортирование подводных пловцов и скрытная установка мин.

3. В качестве основного метода переработки сероводорода в текущей версии АПА предложено использовать фотохимическую диссоциацию. При этом для снабжения энергией ультрафиолетовых ртутных ламп потребуется мощность около 800 Вт. В случае использования версии с кавитационной диссоциацией требуемую мощность можно заметно (на треть) снизить.

4. Полученный в подводной среде водород может складироваться на борту АПА в связанном виде — в металл-гидридных аккумуляторах. Это обеспечивает энергетический потенциал для начала перманентного движения, если в текущее время такое движение не требуется.

Литература

- [1] Бочаров Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития. *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*, 2009, № 7, с. 62–69.
- [2] Филиппов С., Голодницкий А. Топливные элементы и водородная энергетика. *Энергетическая политика*, 2020, № 11, с. 28–39.
- [3] Ахмедов Р.Б., Кириченко О.В. Способ добычи сероводорода из морской воды и устройство для его осуществления. Патент РФ 1799365. Заявл. 10.014.1991, опубл. 28.02.1993.
- [4] Ахмедов Р.Б., Кириченко О.В. Способ добычи сероводорода из морской воды и устройство для его осуществления. Патент СССР 1799365. Заявл. 10.04.1991, опубл. 28.02.1993.
- [5] Иванов А.Н. *Гидродинамика развитых кавитационных течений*. Ленинград, Судостроение, 1980. 237 с.
- [6] Федоткин И.М., Гулый И.С. *Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности*. Ч. 1. Киев, Полиграфкнига, 1997. 839 с.

- [7] Кириллов А.И., Ротинян Е.М. *Механика жидкости и газа. Сопло Лаваля*. Санкт-Петербург, Практикум, 2017. 21 с.
- [8] Воропаев С.А., Днестровский А.Ю., Скоробогатский В.Н. и др. Экспериментальное изучение процессов образования наноалмазов и фуллеренов при кавитации в смеси этанол-анилин. *Доклады Академии наук*, 2014, т. 459, № 2, с. 162–165, doi: <https://doi.org/10.7868/S0869565214320127>
- [9] Алевкин О.А., Ляхин Ю.И. *Химия океана*. Ленинград, Гидрометеиздат, 1984. 344 с.
- [10] Driver R.B., Fletcher E.A. Hydrogen and sulfur from H₂S. The economics of quench process. *Energy*, 1985, vol. 10, no. 7, pp. 831–842, doi: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(85\)90116-1](https://doi.org/10.1016/0360-5442(85)90116-1)
- [11] Савинов Е.Н., Груздилов Ю.А., Парамон В.Н. Суспензии полупроводников с микрогетеро-переходами — новый тип высокоэффективных фотокатализаторов получения водорода из водных растворов сероводорода или сульфидиона. *Химическая физика*, 1988, т. 7, № 8, с. 1070–1081.
- [12] Знак З.О., Яворский В.Т., Оленыч Р.Р. Получение водорода в технологии полимерной серы. *Водородная энергетика будущего и металлы платиновой группы в странах СНГ*. Москва, МИРЭА, 2005, с. 206–209.
- [13] Гришин С.Г., Калинин А.А., Красноштанов В.Ф. и др. Экспериментальное исследование радиолиза сероводорода. *ВАНТ. Сер. Атомно-водородная энергетика и технология*, 1987, № 2, с. 43–44.
- [14] Курочкин А.К., Мотин Н.В., Алексеев С.З. и др. Кавитационная конверсия мазута газовых конденсатов в дизельнобензиновые дистилляты. *Сфера, нефть и газ*, 2018, № 2 (64), с. 64–74.
- [15] Кулагин В.А. *Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации*. Автореф. дисс. ... док. тех. наук. Красноярск, КГТУ, 2004. 48 с.
- [16] Карпов Д.А., Литуновский В.Н. *Водородная энергетика: хранение водорода в связанном состоянии*. Обзор О-106. Санкт-Петербург, Росатом, АО НИИЭФА, 2016. 94 с.
- [17] Тарасов Б.П., Каган К.Л., Фурсиков П.В. и др. *Металлогидридный аккумулятор водорода многократного действия с улучшенным теплообменом*. Патент РФ 167781. Заявл. 27.11.2015, опубл. 10.01.2017.
- [18] Карпов Д.А., Литуновский В.Н. Аккумулятор для хранения водорода в связанном состоянии и картридж для аккумулятора. Патент РФ 2606301. Заявл. 27.05.2015, опубл. 10.01.2017.
- [19] Веб-сайт ООО «Гидрогениус». URL: <http://www.promnavigator.ru> (дата обращения: 10.10.2023).

References

- [1] Bocharov L. Unmanned underwater vehicles. Their status and general development trends. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes* [Electronics: Science, Technology, Business], 2009, no. 7, pp. 62–69. (In Russ.).
- [2] Filippov S., Golodnitskiy A. Fuel cells and hydrogen energy. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2020, no. 11, pp. 28–39. (In Russ.).
- [3] Akhmedov R.B., Kirichenko O.V. *Sposob dobychi serovodoroda iz morskoy vody i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method and device for recovering hydrogen sulfide from sea water]. Patent RU 1799365. Appl. 10.014.1991, publ. 28.02.1993. (In Russ.).
- [4] Akhmedov R.B., Kirichenko O.V. *Sposob dobychi serovodoroda iz morskoy vody i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method and device for recovering hydrogen sulfide from sea water]. Patent SU 1799365. Appl. 10.04.1991, publ. 28.02.1993. (In Russ.).
- [5] Ivanov A.N. *Gidrodinamika razvitykh kavitatsionnykh techeniy* [Hydrodynamics of developed cavitation currents]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1980. 237 p. (In Russ.).
- [6] Fedotkin I.M., Gulyy I.S. *Kavitatsiya, kavitatsionnaya tekhnika i tekhnologiya, ikh ispolzovanie v promyshlennosti*. Ch. 1 [Cavitation, cavitation technique and technology, their use in industry. P. 1]. Kiev, Poligrafkniga Publ., 1997. 839 p. (In Russ.).

- [7] Kirillov A.I., Rotinyan E.M. *Mekhanika zhidkosti i gaza. Soplo Lavalya* [Mechanics of liquid and gas. Laval nozzle]. Sankt-Petersburg, Praktikum Publ., 2017. 21 p. (In Russ.).
- [8] Voropaev S.A., Dnestrovskiy A.Yu., Skorobogatskiy V.N. et al. Experimental study into the formation of nanodiamonds and fullerenes during cavitation in an ethanol–aniline. *Doklady Akademii nauk*, 2014, vol. 459, no. 2, pp. 162–165, doi: <https://doi.org/10.7868/S0869565214320127> (in Russ.). (Eng. version: *Dokl. Phys.*, 2014, vol. 59, no. 2, pp. 503–506, doi: <https://doi.org/10.1134/S102833581411007X>)
- [9] Alekin O.A., Lyakhin Yu.I. *Khimiya okeana* [Ocean chemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1984. 344 p. (In Russ.).
- [10] Driver R.B., Fletcher E.A. Hydrogen and sulfur from N₂S. The economics of quench process. *Energy*, 1985, vol. 10, no. 7, pp. 831–842, doi: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(85\)90116-1](https://doi.org/10.1016/0360-5442(85)90116-1)
- [11] Savinov E.N., Gruzdikov Yu.A., Paramon V.N. Suspensions of semiconductors with microhetero-junctions — a new type of highly efficient photocatalysts for hydrogen production from aqueous solutions of hydrogen sulfide or sulfidione. *Khimicheskaya fizika*, 1988, vol. 7, no. 8, pp. 1070–1081. (In Russ.).
- [12] Znak Z.O., Yavorskiy V.T., Olenych R.R. [Hydrogen production in polymer sulphur technology]. *Vodorodnaya energetika budushchego i metally platinovoy gruppy v stranakh SNG* [Hydrogen Energy of the Future and Platinum Group Metals in CIS Countries]. Moscow, MIREA Publ., 2005, pp. 206–209. (In Russ.).
- [13] Grishin S.G., Kalinnikov A.A., Krasnoshtanov V.F. et al. Experimental study of hydrogen sulfide radiolysis. *VANT. Ser. Atomno-vodorodnaya energetika i tekhnologiya*, 1987, no. 2, pp. 43–44. (In Russ.).
- [14] Kurochkin A.K., Motin N.V., Alekseev S.Z. et al. Cavitation conversion of gas condensate fuel oil into diesel-gasoline distillates. *Sphere, oil and gas*, 2018, no. 2 (64), pp. 64–74.
- [15] Kulagin V.A. *Metody i sredstva tekhnologicheskoy obrabotki mnogokomponentnykh sred s ispolzovaniem effektiv kavitatsii*. Avtoref. diss. dok. tekhn. nauk [Methods and means of technological processing of multicomponent media using cavitation effects. Abs. doc. tech. sci. diss.]. Krasnoyarsk, KGTU Publ., 2004. 48 p. (In Russ.).
- [16] Karpov D.A., Litunovskiy V.N. *Vodorodnaya energetika: khraneniye vodoroda v svyazannom sostoyanii*. Obzor O-106 [Hydrogen energy: hydrogen storage in bound state. Review O-106.]. Sankt-Petersburg, Rosatom, AO NIIIEFA Publ., 2016. 94 p. (In Russ.).
- [17] Tarasov B.P., Kagan K.L., Fursikov P.V. et al. *Metallogidridnyy akkumulyator vodoroda mnogokratnogo deystviya s uluchshennym teploobmenom* [Metal hydrogen battery of hydrogen repeated action with improved heat exchange]. Patent RU 167781. Appl. 27.11.2015, publ. 10.01.2017. (In Russ.).
- [18] Karpov D.A., Litunovskiy V.N. *Akkumulyator dlya khraneniya vodoroda v svyazannom sostoyanii i kartridzh dlya akkumulyatora* [Accumulator for hydrogen storage in bound state and accumulator cartridge]. Patent RU 2606301. Appl. 27.05.2015, publ. 10.01.2017. (In Russ.).
- [19] Website of OOO «Gidrogenius». URL: <http://www.promnavigator.ru> (accessed: 10.10.2023). (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 08.10.2023

Информация об авторах

ШКИНЕВ Валерий Михайлович — доктор химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (119991, Москва, Российская Федерация, ул. Косыгина, д. 19, e-mail: vshkinev@mail.ru).

САПРЫКИН Олег Алексеевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (119991, Москва, Российская Федерация, ул. Косыгина, д. 19, e-mail: saprykin@geokhi.ru).

НОСОВ Виктор Николаевич — доктор технических наук, заведующий лабораторией. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (119991, Москва, Российская Федерация, ул. Косыгина, д. 19, e-mail: viktor_nosov@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Шкинев В.М., Сапрыкин О.А., Носов В.Н. Об увеличении ресурсов автономных подводных аппаратов путем применения источников морской среды и изменения конструкции. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 5, с. 66–77.

Please cite this article in English as:

Shkinyov V.M., Saprykin O.A., Nosov V.N. On increasing resources of the autonomous underwater vehicles using the marine environment sources and the vehicle design. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 5, pp. 66–77.

Information about the authors

SHKINYOV Valery Mikhailovich — Doctor of Science (Chemistry), Associate Professor, Leading Researcher. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences (119991, Moscow, Russian Federation, Kosygina St., Bldg. 19, e-mail: vshkinev@mail.ru).

SAPRYKIN Oleg Alekseevich — Candidate of Science (Eng.), Leading Researcher. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences (119991, Moscow, Russian Federation, Kosygina St., Bldg. 19, e-mail: saprykin@geokhi.ru).

NOSOV Viktor Nikolaevich — Doctor of Science (Eng.), Head of the Laboratory. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences (119991, Moscow, Russian Federation, Kosygina St., Bldg. 19, e-mail: viktor_nosov@mail.ru).



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям учебное пособие**

«Испытания ракетного оружия»

**Авторы: В.М. Кашин, Ф.В. Марушин, С.В. Медвецкий,
В.Д. Самарин, В.А. Хандогин**

Рассмотрены вопросы испытаний ракетного оружия. Показано, что процесс испытаний является составной частью проектирования и разработки образца ракетного оружия. Приведена классификация испытаний по видам и категориям, включающая в себя наземные и летные испытания, а также научно-исследовательские испытания, испытания на этапах опытно-конструкторской работы и серийного производства. Описаны методы, технические средства и оборудование для проведения испытаний ракетного оружия. Представлены фотоматериалы различных испытаний ракетного оружия, наглядно показывающие его функционирование.

Для студентов старших курсов, обучающихся по специальности 17.05.02 «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное вооружение». Пособие может быть полезно студентам смежных специальностей, аспирантам и инженерам.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>