

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ МОРСКИХ ИНФРАСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В.В. Княжев, В.В. Лощенков

Статья посвящена созданию морских инфраструктур с использованием возобновляемых источников энергии в океане, таких как тепловая энергия океана, энергия Солнца, ветра, волн, приливов и течений, градиентов солености, биомассы. Рассмотрены возможные потребители энергии в океане, и прежде всего это автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) и буи с измерительной и контрольной аппаратурой, а также производства, объекты марикультуры и промыслы по добыче газа, нефти и другого сырья в океане. Приведены примеры разработок в нашей стране и за рубежом изготовленных и испытанных морских аппаратов, в которых используются природные возобновляемые источники энергии. Плотность энергии в возобновляемых источниках невысока, поэтому разрабатывались в первую очередь аппараты, имеющие низкие расходы энергии на приведение в движение, типа подводных планеров. Некоторые такие аппараты выпускаются серийно, и ими выполнены длительные миссии в океане. С помощью установок, которые преобразуют энергию приливных течений, осуществляется энергоснабжение потребителей на некоторых островах. Рассмотрены также собственные разработки, в которых используется энергия от возобновляемых источников для комплексов марикультуры, подводных транспортных комплексов и транспортов пресной воды с обеспечением энергии за счет смешения транспортируемой пресной воды и окружающей морской воды.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, автономные необитаемые подводные аппараты, солнечная, волновая, ветровая энергия, энергия течений, приливов, глайдеры.

Введение

В последнее время значительно вырос интерес к развитию технологий, связанных с океаном. Особую актуальность представляют технологии по добыче и производству продуктов питания, сырья, выработке энергетических ресурсов, решению проблем транспорта и обороны. Для решения всех этих проблем целесообразно использование подводных и полупогружных автономных необитаемых аппаратов. При длительном функционировании таких аппаратов, часто вдали от берегов, для пополнения запасов энергии целесообразно использовать возобновляемую энергию океана. В мире морская энергетика, включая использование энергии ветра над морской поверхностью, является достаточно динамичной и быстрорастущей. Кроме производства энергии требуется ее аккумуляция, хранение и передача потребителям, в том числе и автономным необитаемым аппаратам. Изначально источниками всей возобнов-

ляемой энергии в океане являются Солнце, вращение Земли и Луны, а также геотермальное тепло. Солнечная энергия может прямо использоваться через нагрев тел и поверхностей от Солнца, а также через выработку фотоэлементами электричества. Для выработки энергии необходима разность потенциалов, она наиболее высока на границе сред, на поверхности моря между водой и воздухом и между водой и твердой поверхностью дна и суши. Возобновляемые источники в основном имеют низкую плотность энергии: так, на поверхности Земли плотность солнечной энергии имеет величину около $0,5-1 \text{ кВт/м}^2$ [1]. Кроме того, плотность энергии для большинства возобновляемых источников энергии подвержена суточным, сезонным колебаниям и зависит от погоды. Но есть регионы, где плотность энергии может значительно превышать плотность солнечной энергии.

В океане и на его поверхности могут быть использованы следующие возобновляемые природные источники энергии:

- тепло океана, для преобразования энергии используется разность температур между теплыми поверхностными водами и холодными глубинными в тропических широтах океана весь год и в умеренных летом, а также разность между относительно теплыми слоями воды и холодным воздухом в полярных и умеренных широтах в холодный сезон года;
- энергия волн, ветра и зыби;
- энергия течений – океанских и приливных;
- энергия приливов, можно использовать кинетическую энергию приливных течений и потенциальную – подъем и опускание уровня моря в приливной волне;
- энергия ветра, над океаном ветра более постоянны, чем над сушей, и скорость их может быть выше;
- энергия градиентов солености, используется разность химических потенциалов между растворами разной концентрации, при этом один из растворов – морская вода, а второй – или пресная вода из впадающих в моря рек и плавающих льдов, или концентрированные рассолы из сильносоленых водоемов на берегах морей и залежей соли на берегу или под морским дном. Разность химических потенциалов также есть между слоями океана из-за неравновесного его состояния;
- энергия биомассы получается из биомассы растений и животных, добытых или выращенных в океане.

Среди потенциальных потребителей возобновляемой энергии океана и традиционных источников энергии надо отметить:

- оборудование для обеспечения морской навигации, приборы наблюдения и контроля параметров океана и окружающей среды в целях метеорологии, гидрологии и океанографии, предупреждения о цунами, наблюдения за животными, в военных целях, размещаемое на надводных и подводных платформах, буях и АНПА [2, 3];
- АНПА – для приведения их в движение необходима энергия [4];
- средства обслуживания объектов марикультуры, обеспечения безопасности и навигации, энергоснабжения кормушек, производства льда и холодной воды, подзарядки АНПА или помещений экипажа [5,6];
- средства энергообеспечения нефтяных и газовых промыслов в море, объектов для добычи минералов с морского дна;

- средства добычи минеральных веществ, растворенных в морской воде;
- аппаратура для опреснения морской воды;
- аппаратура для электролиза морской воды с целью получения водорода [7].

■ Использование возобновляемых морских источников энергии в АНПА и буях

Тепловая энергия океана

В 1986 году Дуг Уэбб (Doug Webb's) предложил идею теплового двигателя, в котором в теплообменнике воскоподобное вещество меняет объем при изменении фазового состояния при разной температуре [8]. Этот двигатель предназначался для приведения в движение подводного планера – глайдера, плавучесть которого и заряд пневмо-аккумуляторов изменялись в зависимости от режима движения и температуры среды с использованием воскообразного вещества. Для подтверждения концепции планерного транспортного средства были построены электрогидравлические версии глайдера, в которых объем аппарата и его плавучесть менялись за счет энергии электрических батарей. Такие глайдеры фирма Уэбба производит достаточно массово, так как такой привод аппаратов достаточно экономичен, поэтому они могут функционировать длительное время с датчиками на борту [9]. Термальный планер Slocum (рис. 1) дебютировал в открытом океане в декабре 2007 года, а 2 декабря 2008 г. лаборатория автономных систем Дэвида Фратантони в океанографическом институте Вудс-Хоул и компания Уэбба инициировали длительный полет на тепловом планере Slocum. За четыре месяца этот планер преодолел 3000 км на участке



Рис. 1. Термоглайдер SLOCUM (Webb Research Corporation)

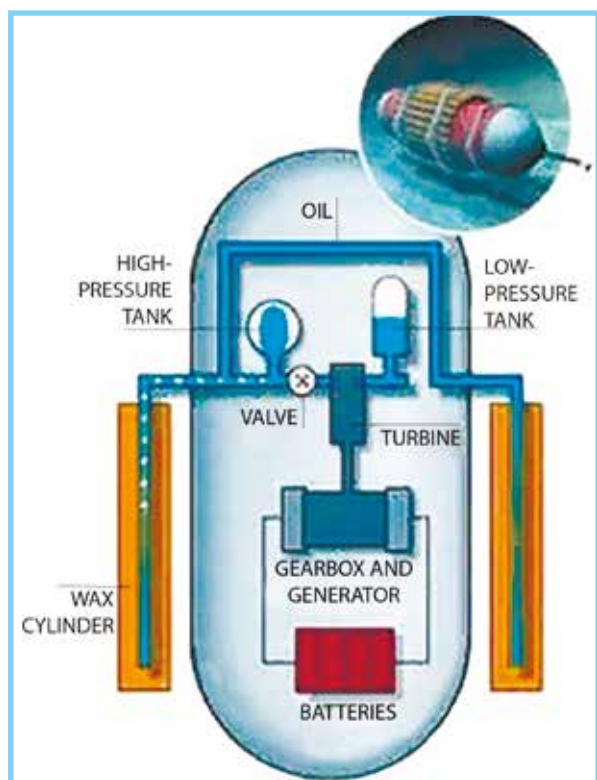


Рис. 2. Зонд SOLO-TREC с преобразователем тепловой энергии

между островами Сент-Томас и Санта-Крус, помогая разрешить геострофический поток [8].

В 2014 г. ВМС США анонсировали контракт с компанией Teledyne Benthos на сумму 203,7 млн долларов на подготовку военной версии термоглайдера. Предполагалось использование глайдера для слежения за подводными лодками [9].

Разработкой термоглайдеров занялись и в других странах и организациях. В Университете Тяньцзиня (Китай) разработали и испытали термоглайдер аналогичной конструкции с использованием парафинов для придания аппарату необходимой плавучести (рис. 2) [10]. Тепловой двигатель был испытан вначале в лабораторных условиях, а потом в Южно-Китайском море. Прототип подводного глайдера с тепловой машиной был запущен 18 апреля 2015 года и за 27 дней выполнил 113 профилей погружения, пройдя 677 км со средней скоростью 25 км/день. Глубина погружения аппарата – 960 м. Был сделан вывод, что фактическая скорость изменения объема может достигать 89,2% от теоретического значения, а средняя мощность составляет около 124 Вт в типичном профиле погружения.

В России разработкой подводных глайдеров занимается ЗАО «НПП ПТ «Океанос» с 2011 г. в сотрудничестве с Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом (СПбГМТУ). В июле 2015 г. экспериментальный образец аппара-

та был представлен на Международном военно-морском салоне в Санкт-Петербурге. Были проведены и его натурные испытания. На будущее в качестве источников энергии для этих аппаратов рассматривают солнечные батареи, термальные двигатели, как на аппаратах Slocum Thermal Glider, или генераторы на фазовых переходах, как в зондах SOLO-TREC [11].

Для преобразования тепловой энергии океана в Институте океанографии Скриппса и лаборатории реактивного движения (JPL) для ныряющего зонда SOLO-TREC был использован похожий принцип на фазовом переходе воскоподобных веществ, которые помещены во внешних трубках. При перетекании рабочего вещества приводится в действие гидромотор электрогенератора и заряжается электроаккумулятор. Энергия от электроаккумуляторных батарей питает гидравлическую систему, изменяющую объем поплавка и его плавучесть, благодаря чему он может погружаться и всплывать [12] (рис. 2). Зонд SOLO-TREC совершает по 3, 4 погружения в день и в каждом из них система генерирует 1,6–1,7 Вт-ч электроэнергии. Этой энергии достаточно для питания научных датчиков, GPS-навигатора и системы связи, а также для управления плавучестью аппарата [13].

Прототип SOLO-TREC (рис. 3) массой 84 кг был опущен в воду 30 ноября 2009 г. примерно в 161 км к юго-западу от Гонолулу и протестирован. Он совершил более 300 погружений на глубину 500 м [14].

Для использования представленной технологии от лаборатории реактивного движения была основа-



Рис. 3. Прототип SOLO-TREC



Рис. 4. Navis SL-1

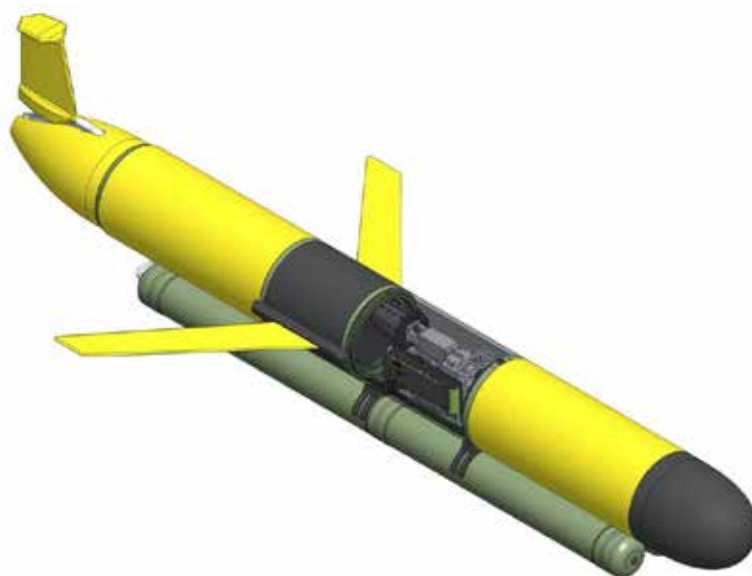


Рис. 5. Подводный глайдер сторонних производителей с системой Seatrec, показанной зеленым цветом

на компания Seatrec [15]. Первым созданным в ней аппаратом в 2019 г. был SL-1, который был соединен с поплавком Navis для морских птиц (Navis SL-1) (рис. 4). Новый аппарат (2023г.) InfiniTE float объединяет запатентованную систему энергосбережения в новую вертикально интегрированную поплавокую систему, способную поддерживать такие энергоемкие датчики, как эхолоты и гидрофоны.

Компания Seatrec планирует использовать свою технологию и на подводных глайдерах. Энергия, выработанная в системе при погружении и подъеме, используется для изменения плавучести глайдера и питания бортовых приборов [16] (рис. 5). Компания Seatrec занимается разработкой системы для выработки энергии в арктических условиях, используя тепловую энергию океана [17] (рис. 6). Низкокипящая жидкость превращается в пар в испарителе, находящемся в относительно теплой воде. Пар вращает турбину и охлаждается наружным холодным воздухом и конденсируется. Подобная система может обеспечить длительное функционирование в арктических условиях буев и платформ, используемых в исследовательских и военных целях.

Тепловая энергия океана может и прямо преобразовываться в электрическую энергию при движении подводного глайдера через слои океана с разной температурой, как это предложено в работе Ж. Фалькао Карнейро, Ф. Гомеш де Алмейда [18]. Для этого используются встроенные в корпус аппарата термоэлектрические генераторы (ТЭГ), один спай которых соединен с наружными плавниками аппарата, а другой находится в материале с фазовым переходом, использованным для накопления тепловой энергии. В качестве этого материала рассмотрены парафины с температурами плавления в диапазоне 10–12 °С. Результаты, полученные в этой работе,

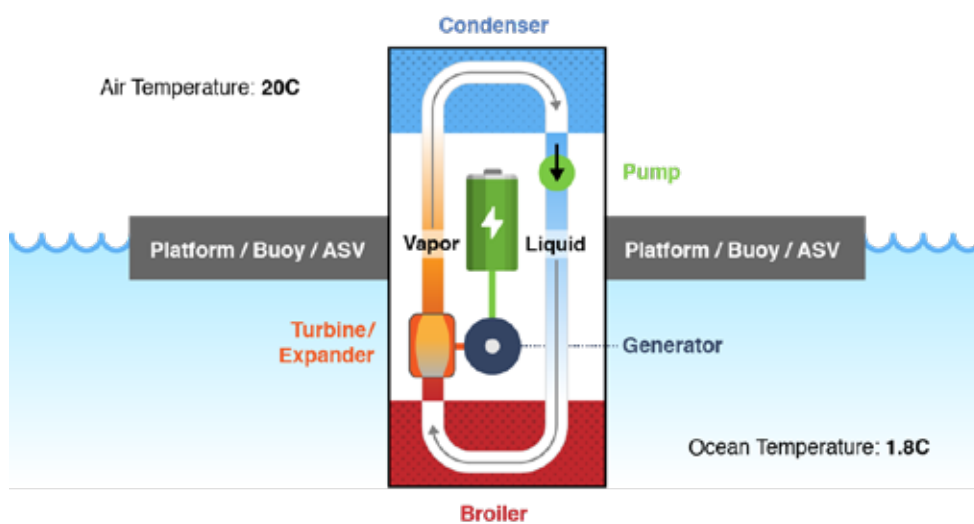


Рис. 6. Система преобразования тепловой энергии океана в арктических условиях для энергоснабжения платформ и буев. На рисунке показаны отрицательные значения температуры

показывают, что 28,9 кг материала с фазовым переходом и 5000 ТЭГ позволяют извлекать требуемые 6 кДж энергии на каждые 1200 м пути, которые глайдер проходит в цикле.

Предлагается также использовать для изменения плавучести аппарата сплавы с памятью формы, а для выработки энергии при движении в слоях океана с разной температурой – двигатель Стирлинга [19].

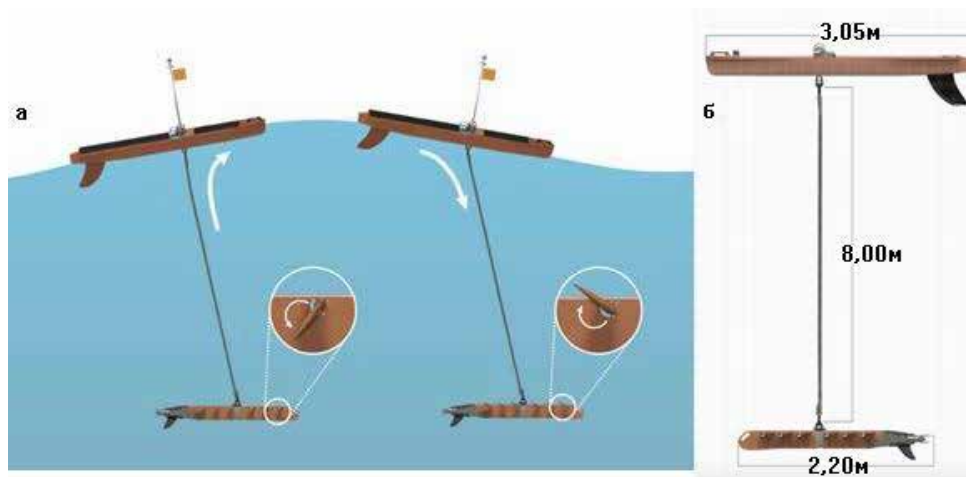


Рис. 7. Принцип работы волнового планера (а) и конструкция и размеры волнового планера (б)

Энергия волн

Использование энергии волн для привода в движение автономного аппарата предложено в работе [20]. Рассмотрено движение по поверхности моря системы из трех разнесенных на расстояние друг от друга крыльев, в идеальном случае расстояние между крайними крыльями равно длине волны. На крыльях могут быть размещены солнечные панели. Совместное использование энергии Солнца и волн позволит сгладить сезонные и широтные изменения поступления энергии от отдельных источников.

Компанией Liquid Robotics разработан и создан волновой планер (глайдер). Начало этой разработки положили в 2003 г. Джозеф Рицци (Joseph Rizzi) и Роберт Хайн. (Robert Hine) [21]. Это устройство приводится в движение под воздействием волн. Принцип его работы ясен из рис. 7, а [22]. Верхний корпус связан тросом с кабелем длиной 8 м с рамой с поворачивающимися крыльями. Перемещение этих крыльев вслед за плавающим корпусом в неподвижном глубинном слое воды создает движущую силу и придает аппарату скорость около 2 км/ч. На верхнем корпусе установлены солнечные батареи, от которых заряжается электроаккумулятор и обеспечиваются энергией приборы наблюдения и управления. Имеется дополнительный электрический микродвигатель в качестве подруливающего устройства в сложных условиях (затишья, сильные течения, ураганы).

К 2017 г. компанией Liquid Robotics произведено около 350 экземпляров таких волновых планеров. Они используются учеными, военными, нефтяными компаниями для наблюдений в мировом океане. Устройство показало хорошую устойчивость к штормам и способность совершать автономные плавания продолжительностью до года без технического обслуживания [23, 24].

Для обеспечения энергией автономных потребителей в море и около берега за счет энергии волн нами была разработана мобильная волновая энергетическая установка (рис. 8) [25]. Она содержит надувной складывающийся понтон и плавающий якорь с отрицательной плавучестью, с гибкими связями между ними. В транспортном положении воздух из понтона стравливается, плавучий якорь подтягивается к верхней палубе понтона, и установка с помощью двигателей перемещается в нужный район. Там лебедки распускают тросы, нижняя и верхняя части корпуса расходятся с установкой плавучего якоря, натяжением гибкой связи и привода электрогенератора воздушные баллоны надувают понтон. Далее происходит повторяющийся циклический процесс: при восхождении поплавок на гребень волны клапаны плавучего якоря закрыты и между поплавком и плавучим якорем трос натягивается вследствие инерции присоединенной массы воды (сопротивления плавучего якоря). Усилие натяжения троса передается на привод электрогенератора. Генератор вырабатывает и передает электроэнергию на электроаккумулятор. Также для накопления энергии в виде водорода может использоваться электролизёр.

В Китае для увеличения радиуса действия АНПА разработали волновой привод для его подзарядки [26] (рис. 9), схожий с предложенным нами.

Система состоит из четырех модулей:

- модуль улавливания энергии – полуцилиндрический поплавок, соединенный с основным корпусом, который может перемещаться вверх и вниз вместе с океанскими волнами;
- модуль преобразования движения, который содержит тросовые механизмы, преобразующие движение поплавка вверх и вниз во вращение генератора в одну сторону;

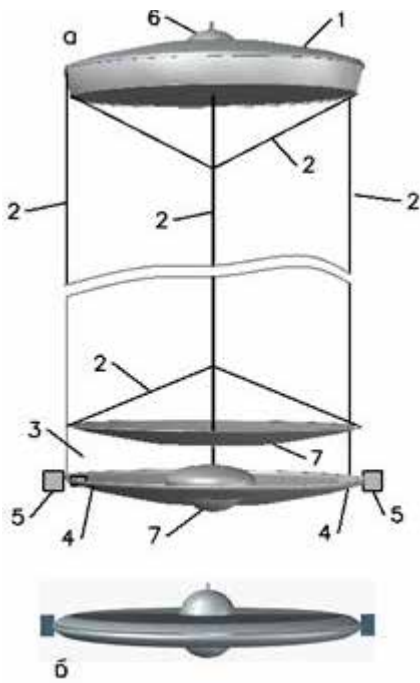


Рис. 8. Волновая энергетическая установка: а – в состоянии генерации, б – транспортное положение. Цифрами обозначены: 1 – надувной складывающийся понтон; 2 – гибкая связь; 3 – якорное устройство (плавучий якорь); 4 – лебедка; 5 – двигатель; 6 – блок управления и навигации, трансформации и генерации со спутниковой связью; 7 – блок гидроакустической связи и навигации, генерации энергии, сохранения и передачи энергии

- модуль генератора;
- модуль хранения электрической энергии в суперконденсаторе.

Надежность и доступность тросово-шкивного механизма были продемонстрированы с помощью моделирования и сухих экспериментов. При различных амплитудах и частотах волн механическая эффективность колеблется от 20,41% до 81,56%. В спокойных условиях океана максимальная мгновенная мощность, измеренная в полевых экспериментах, составила 67,74 Вт при среднем значении 10,18 Вт. Время, необходимое для полной зарядки аккумулятора АНПА, составляет 2,65 дня, а полностью заряженный аккумулятор позволяет проходить 20 км за 1 раз.

Энергия ветра

Американская компания Sairdrone, занимающаяся производством беспилотных систем для автономного сбора данных в океане, разработала новое беспилотное надводное транспортное средство Sairdrone Explorer USV [27] (рис. 10). Это беспилотный парусный аппарат с высоким жестким крылом, продольным лонжероном и вертикальным оперени-

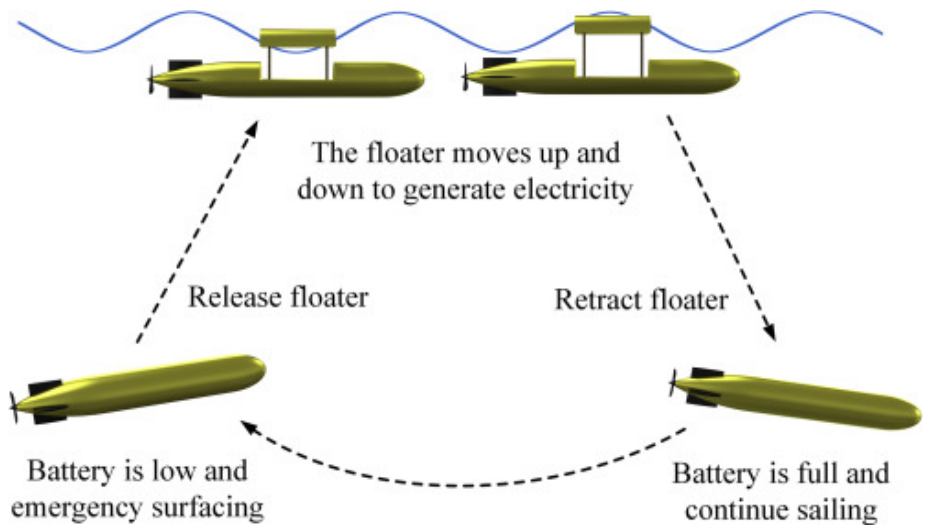


Рис. 9. Схема принципа работы автономного подводного аппарата с волновым приводом большой дальности действия

ем. Угол наклона крыла можно регулировать с помощью триммера на конце хвостовой части. Длина аппарата 7 м. Sairdrone Explorer при скорости движения по воде 2–8 км/ч имеет радиус действия более 16 000 морских миль и срок службы до 12 месяцев [28]. Для обеспечения электроэнергией приборов и оборудования сверху на корпусе и на парусе установлены солнечные фотоэлектрические панели. Кроме того, производятся аппараты большего размера, на которых дополнительно установлены дизельные двигатели, – Sairdrone Voyager (10м) и Sairdrone Surveyor



Рис. 10. Аппарат Sairdrone Explorer USV

(20 м), их скорость может быть выше, но срок службы 180 дней и больше [29]. Они оснащены дополнительно профилирующими лебедками для изучения глубин.

Солнечная энергия

С 1995 года Институт проблем морских технологий ДВО РАН и Институт автономных подводных систем (AUSI, США) осуществляли совместную программу по разработке автономного подводного аппарата на солнечной энергии [30–33]. На основании этих разработок и исследований в ИПМТ ДВО РАН создан прототип солнечного АНПА (рис. 11). Испытания САНПА проводились летом и осенью 2000 и 2001 гг. в мелководной бухте залива Петра Великого [34]. Результаты испытаний подтвердили способность аппарата в течение нескольких суток выполнять миссию, состоящую из активной ночной фазы и пассивной дневной, предназначенной для зарядки аккумуляторных батарей на поверхности.



Рис. 11. Солнечный автономный необитаемый подводный аппарат (САНПА)

Рассматривается возможность использования фотоэлектрических элементов для энергоснабжения аппаратов и в подводном положении [35]. Поскольку состав спектра под водой меняется из-за разной степени поглощения света с разной длиной волны, и сине-желтая часть спектра (400–600 нм) поглощается слабее, то подводный спектр смещен в сторону использования полупроводников с более широкой запрещенной зоной для солнечных элементов (1,8 эВ). Таким образом, традиционные солнечные элементы, в которых используются полупроводники с узкой запрещенной зоной, не являются оптимальными для

глубоководных применений. Расчеты детального баланса показывают, что подводные солнечные элементы обладают потенциалом для сбора полезной энергии на глубинах до 50 м с эффективностью, варьирующейся от 55% на мелководье до более чем 65% на глубине, и все это при выработке мощности более 5 Вт/м.

Энергия течений

В проекте Европейского союза Powerkite разрабатывается новая концепция отбора энергии от приливных течений в виде подводного змея Minesto Deep Green [36,37] (рис. 12). Эта концепция заключается в извлечении энергии течений при движении аппарата в толще текущей воды по траектории в форме цифры 8 с использованием гидродинамической подъемной силы крыла. При этом скорость потока через турбину на порядок выше, чем у стационарной турбины, и поэтому устройство может работать при относительно низких скоростях потоков.

Турбина установлена на гондоле, подвешенной к жесткому крылу, и приводит в действие генератор для преобразования энергии течений в электричество, которое передается по кабель-тросам, соединяющим воздушный змей с морским дном, в электрическую сеть потребителю. Эта система может работать при скоростях течения от 1,2 м/с. В 2007 году Minesto была основана как дочернее предприятие Saab, и



Рис. 12. Установка Minesto DG500. Цифрами обозначены: 1 – крыло, 2 – турбина, 3 – гондола, 4 – крыло руля, 5 – стойки, 6 – трос

технология продолжала развиваться. С тех пор было построено и испытано пять прототипов, сначала в бассейнах, а с 2011 года – в океане. Впервые электричество было произведено в 2009 году. К октябрю 2018 года была использована такая установка коммерческого масштаба мощностью 500 кВт в 8 км от берега Северного Уэльса, Великобритания. Разработанная система меньшего масштаба (около 100 кВт), ориентированная на автономные приложения, такие как островная экономика и аквакультура.

■ Перспективные морские промышленные инфраструктуры с использованием возобновляемых источников энергии

Нами было предложено несколько вариантов использования возобновляемых источников на производственных и транспортных объектах в море.

Комплекс марикультуры

Так, был разработан комплекс марикультуры с энергообеспечением объектов берегового и морского базирования от возобновляемых источников. Комплекс содержит модульное автономное автоматизированное береговое предприятие инкубации и разведения с энергообеспечением от солнечных фотоэлектрических батарей, ветроэнергетических установок и нагревом и охлаждением воды с помощью солнечных коллекторов и тепловых насосов. Конкретный проект был разработан для завода разведения гидробионтов на о-ве Попова залива Петра Великого. Подобная система с автоматизацией технологических параметров водообмена и климата, минимальным вахтовым обслуживающим персоналом и удаленным диспетчерским контролем узкими специалистами позволяет развивать производства в отдаленных районах с минимальным ущербом для природы [39].

Также предлагаются морские плантации с выращиванием гидробионтов в толще воды на автономных автоматических фермах с удаленным диспетчерским контролем и управлением. Плантация содержит заякоренные погружные фермы с устройствами смены глубины и волновую и солнечную энергетические установки с блоком управления и связи, обеспечивающие фермы сжатым воздухом и электричеством. Система сжатого воздуха обеспечивает аэрацию, постоянное значение натяжения якорного троса и апвеллинг донного бентоса к ферме. Обслуживается комплекс полупогружным судном-доком без водолазных работ.

Грузовой подводный транспорт

Освоение северных и дальневосточных морей и побережий связано с необходимостью всесезонных поставок топлива, оборудования, материалов и товаров жизнеобеспечения. Предлагается создание постоянного грузового транспортного сообщения в северных и дальневосточных морских бассейнах, мало зависящего от состояния водной поверхности, на основе транспортов-роботов подводных (далее ТРП). ТРП состоят из движителя и транспортной конструкции. Транспортная конструкция в зависимости от груза имеет форму жесткой фермы с внешними обтекателями и водопроницаемыми контейнерами или форму герметичных прочных цилиндров. ТРП имеют возможность всплытия на поверхность и погружения на несколько десятков метров в транспортном состоянии. В транспортной конструкции расположены дополнительные цистерны с запасом топлива для движителя. Движитель-робот содержит блоки управления, связи, плавучести, подводный стыковочный, навигационный, двигательный, запаса топлива и энергетический блок. Энергией робота обеспечиваются топливные элементы на метаноле или сжиженном метане с кислородом из перекиси водорода. Энергоисточником в удаленных пунктах доставки и отправки грузов послужат энергетические установки на возобновляемых источниках, обеспечивающие энергией технологические линии подготовки топлива для ТРП и погрузочно-разгрузочные операции в подводном и надводном положении [40].

Использование в качестве источника кислорода перекиси водорода позволит обойтись без тяжелых баллонов для сжатого кислорода или криогенных емкостей для жидкого кислорода. Метанольные топливные элементы имеют то преимущество, что для хранения и перевозки метанола не требуются тяжелые толстостенные баллоны и сосуды, метанол отличается более высокой теоретической удельной энергией по сравнению с другими видами топлива для топливных элементов. Топливные элементы на метаноле могут работать при невысоких температурах. Если использовать в топливных элементах метан, то отпадает необходимость синтеза метанола. Природный газ для этого может сжижаться с использованием возобновляемых источников энергии. А при транспортировке сжиженного природного газа от заводов по его сжижению возможен отбор части его для питания топливного элемента.

Морской транспортный комплекс пресной воды

Проблема нехватки пресной воды в некоторых регионах Земли стоит очень остро. Поэтому был пред-

ложен модульный автоматический морской транспорт для доставки чистой питьевой пресной воды. Транспорт содержит цилиндрическую емкость из упругого эластичного материала для пресной воды, систему забора и подачи воды, двигатель, энергетическую установку, блок управления навигации и связи с диспетчерским контролем и управлением. Транспорт имеет надводный и подводный варианты конструкций. В случае только надводного варианта емкость для пресной воды при наполнении принимает форму цилиндра, при опустошении складывается компактно гармошкой по диаметру внутренними тросовыми лебедками, прикрепленными к передней диаметральной жесткости емкости. Надводный вариант оптимален при транспортировке на расстояния более 1500 км с возвратом в место загрузки нескольких опорожненных транспортов в компактной форме грузовым судном. В случае подводного варианта в емкости вместо тросовых лебедок присутствуют попечные эластичные стяжки и устройство плавучести с балластом 3000 т. Подводный вариант работает на глубине и поверхности, но возвращение для загрузки выполняет самостоятельно. Ледовая обстановка для подводного варианта – не помеха. В обоих вариантах к емкости спереди крепится жесткая конструкция обтекаемой формы, в которой расположены четыре винтовых электродвигателя, электролизная батарея и осмотическая установка, аккумулятор, насосы забора и отдачи воды, блок управления и связи [41].

В качестве источника энергии для движения и управления транспорта используется транспортируемая пресная вода и окружающая морская вода.

Рассматриваются энергетические установки на основе осмоса и обратного электролиза, а также возможно совместное использование установок обоих типов. При обратимом смешении растворов разной концентрации может быть получена полезная энергия, так называемая энергия градиентов солености (ЭГС). В работе [19] рассматривается возможность использование ЭГС для энергоснабжения подводных аппаратов, но основным препятствием для этого они считают необходимость иметь большие запасы пресной воды на борту. В нашем же случае пресная вода как раз и является перевозимым грузом.

Заключение

Энергия, необходимая для длительного автономного функционирования морских инфраструктур, может быть обеспечена за счет возобновляемых источников энергии в океане. Потенциалы и ресурсы этих источников энергии очень высоки, но плотности потоков энергии небольшие. Возобновляемые источники энергии в океане могут использоваться для энергоснабжения автономных объектов, в частности АНПА, в течение длительного времени. При малой плотности энергии и ограниченных размерах аппаратов будет обеспечено функционирование при низком уровне энергопотребления. Для стационарных объектов ограничений для размеров преобразователей энергии нет, поэтому они могут иметь большую мощность. В качестве таких стационарных объектов можно рассматривать станции подзарядки АНПА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сичкарев В.И., Акуличев В.А. Волновые энергетические станции в океане. М.: Наука, 1989. 132 с.
2. Powering the Blue Economy™: Exploring Opportunities for Marine Renewable Energy in Maritime Markets // Water Power Technologies Office. Marine Energy Program. April 2019. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/09/f66/73355-v2.pdf>
3. Горлов А. Возобновляемые источники энергии для повышения эффективности исследований Мирового океана // Ennergy Bulletin. 2014. No. 18. P. 14–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozobnovlyaemye-istochniki-energii-dlya-povysheniya-effektivnosti-issledovaniy-mirovogo-okeana/viewer>
4. Slesarenko V.V., Knyazhev V.V. Energy Sources for Autonomous Unmanned Underwater Vehicles // Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference. Rhodes, Greece, 2012. P. 538–542.
5. Loschenkov V.V., Knyazhev V.V. Power supply of perspective complexes mariculture // 2nd Asian Wave and Tidal Energy Conference (AWTEC-2014). Tokyo Big Sight, 2014. P. 44.
6. Knyazhev V.V., Loshchenkov V.V., Energy Supply of Marine Autonomous Objects from Renewable Energy Sources // Offshore, Arctic and Renewable Energy Technologies: 13th ISOPE PACOMS Symposium. Jeju Island, Korea, 2018.
7. Heping Xie, Zhiyu Zhao, Tao Liu, Yifan Wu, Cheng Lan, Wenchuan Jiang, Liangyu Zhu, Yunpeng Wang, Dongsheng Yang, Zongping Shao. A membrane-based seawater electrolyser for hydrogen generation // Nature. 2022. Vol. 612. P. 673–678. URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05379-5.pdf>
8. Jones C., Glenn S., Schofield O. Slocum Gliders Make Historic Voyages. 2008. August 27. URL: <https://www.hydro-international.com/content/article/slocum-gliders-make-historic-voyages>
9. Niewiadomska K. Evolution, Technology and Application of the Slocum Littoral Glider. Webb Research Corporation. 2004. January. URL: https://www.researchgate.net/publication/295935874_Evolution_technology_and_application_of_Slocum_gliders
10. Yanan Yang, Yanhui Wang, Zheson Ma, Shuxin Wang. A thermal engine for underwater glider driven by ocean thermal energy // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 99. P. 455–464. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.038>
11. Гайкович Б.А. Семейство подводных глайдеров – новые перспективы // Новый оборонный заказ. Стратегии. 2015. №4 (36). С. 70–74. URL: http://oceanos.ru/s1/files/File/2015_NOZ_glider.pdf
12. NASA's SOLO-TREC robotic diver gets powered by changing ocean temperatures. 2010. May 6. URL: <https://ecofriend.com/nasas-solo-trec-robotic-diver-gets-powered-by-changing-ocean-temperatures.html>

13. SOLO-TREC (Sounding Oceanographic Lagrangian Observer Thermal RECharging) configurationPlatform: SOLO-TREC. Manufacturer: Scripps Institution of Oceanography, Scientific User: Scripps Institution of Oceanography. URL: <https://auvac.org/257-2/>
14. BuisA.NASADemonstratesNovelOcean-PoweredUnderwaterVehicle.04.05.2010.URL: https://www.google.ru/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fcenters%2Fjpl%2Fnews%2Fearth20100405.html&psig=AOvVaw2Jkw8H2d_CrfrdELo75YTJ&ust=1681274080244000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwiYpe2TgKH-AhVDsCoKHf58CFgQr4kDegQIARBF
15. Seatrec offers a family of energy harvesting technologies to power underwater robots (ocean floats and gliders), platforms, and sensors in support of ocean research, national defense, and commercial industries. URL: <https://seatrec.com/products/>
16. Coxworth B. Seatrec tech uses changes in temperature to power underwater gliders. 2021. March 08. URL: <https://newatlas.com/marine/seatrec-temperature-gradient-underwater-glidern/>
17. Harvesting Energy from Ocean Temperature Differences. URL: <https://seatrec.com/technology/>
18. Falcão Carneiro J., Gomes de Almeida F. Model and simulation of the energy retrieved by thermoelectric generators in an underwater glider // *Energy Convers. Manag.* 2018. Vol. 163. P. 38–49. URL: https://www.researchgate.net/publication/323959371_Model_and_simulation_of_the_energy_retrieved_by_thermoelectric_generators_in_an_underwater_glider
19. Hyunjun Jung a, Subban Ch.V., McTigue J.D., Martinez J.J., Copping A.E., Osorio J., Jian Liu , Deng Z.D. Extracting energy from ocean thermal and salinity gradients to power unmanned underwater vehicles: State of the art, current limitations, and future outlook // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2022. Vol. 160. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/1-s2.0-S1364032122002027-am.pdf>
20. Агеев М.Д. Концепция АНПА, использующего солнечную энергию и энергию морского волнения // *Морские технологии.* Вып. 3, Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 39–45.
21. Wave Glider – морской беспилотник // *Военное обозрение.* 2017. URL: <https://topwar.ru/115436-wave-glider-morskoy-bespilotnik.html>
22. The Wave Glider: How it Works. URL: <https://www.liquid-robotics.com/wave-glider/how-it-works/>
23. Wave Glider. URL: <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/wave-glider/>
24. The Wave Glider. URL: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/defense/autonomous-systems/wave-glider-sharc/wave_glider_product_sheet.pdf
25. Патент 145688 Российская Федерация, МПК F03B 13/12(2006.01). Морская волновая энергетическая установка: № 2013142966/06: заявл. 20.09.2013: опубл. 27.09.2014 / Лощенков В.В., Княжев В.В., Копылов В.В., Кирик Н.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук. 34 с.: ил.
26. Hai Li, Xiaoping Wu , Zutao Zhang, Xing Tan, Yajia Pan , Chutian Dai, Dabing Luo, Ammar Ahmed , Yongsheng Xu . An extended-range wave-powered autonomous underwater vehicle applied to underwater wireless sensor networks // *iScience Article.* 2022. Vol. 25, Is. 8. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104738>
27. Saildrone Explorer Unmanned Surface Vessel (USV). USA, 2022 February 4. URL: <https://www.naval-technology.com/projects/saildrone-explorer-unmanned-surface-vessel-usv-usa/>
28. Saildrone. URL: <https://pmel.noaa.gov/ocs/saildrone>
29. What Is a Saildrone? URL: <https://www.saildrone.com/technology/vehicles>
30. Ageev M.D. An Analysis of Long Range AUV. Powered by Solar Energy // *Challenges of Our Changing Global Environment. OCEANS '95 MTS/IEEE.* San Diego, CA, USA, 1995. Vol. 2. P. 809–813. DOI: 10.1109/OCEANS.1995.527311.
31. Ageev M.D., Blidberg D.R. Current progress in the development of a solar powered autonomous underwater vehicle (AUV) // *Proceedings of 1998 Int. Symp. on Underwater Technology.* Tokyo, Japan, 1998. P. 145–149. DOI: 10.1109/UT.1998.670079. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/670079>
32. Ageev Application of solar and wave energies for long-range autonomous underwater vehicles // *Advanced Robotics.* 2002. Vol. 16(1). P. 43–55. URL: https://www.researchgate.net/publication/220671452_Application_of_solar_and_wave_energies_for_long-range_autonomous_underwater_vehicles. DOI: 10.1163/156855302317413736.
33. Агеев М.Д., Горнак В.Е., Хмельков Д.Б. О разработке экспериментального образца солнечного автономного подводного аппарата // *Вестн. ДВО РАН.* 1998. № 3. С. 3–11.
34. Агеев М.Д., Блиндберг Д.Р., Ваулин Ю.В., Горнак В.Е., Хмельков Д.Б., Щербатюк А.Ф. Усовершенствованная система управления солнечного АНПА и результаты испытаний аппарата на длительную работу // *Морские технологии.* Вып. 4. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 24–31.
35. Röhr J.A., Lipton J., Kong J., Maclean S.A., Taylor A.D. Efficiency limits of underwater solar cells // *Joule.* 2020. Vol. 4. P. 840–849. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120300830/pdf?md5=f598db37339fcc3628936e4b3ff4a3da&pid=1-s2.0-S2542435120300830-main.pdf>
36. Mosquera A., Hung D., Hallander J., Yujing Liu. Minesto Deep Green - Optimisation of the Power Take-off System for a Novel Tidal Energy Device. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/331320622_MINESTO_DEEP_GREEN-OPTIMISATION_OF_THE_POWER_TAKE-OFF_SYSTEM_FOR_A_NOVEL_TIDAL_ENERGY_DEVICE_MINESTO_DEEP_GREEN-OPTIMISATION_OF_THE_POWER_TAKE-OFF_SYSTEM_FOR_A_NOVEL_TIDAL_ENERGY_DEVICE
37. Our technology // Minesto. URL: <https://minesto.com/our-technology>
38. Deep Green: using underwater kites to generate clean electricity // *Power Technology.* 2018. November 28. URL: <https://www.power-technology.com/features/underwater-kite-energy/>
39. Loshchenkov V. V., Knyazhev V. V. Power Supply of Mariculture Complexes // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2096 012157 (Scopus). 2021. DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012157
40. Лощенков В.В., Княжев В.В. Перспективы возобновляемой энергетики в развитии северных и дальневосточных морских бассейнов // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. Севастополь.* 2020. С. 354–357.
41. Loshchenkov V.V., Knyazhev V.V. Sea Transport of Fresh Water // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2096 012167 (Scopus). 2021. DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012167

Сведения об авторах

КНЯЖЕВ Валерий Викторович, к.т.н., лаборатория энергетики подводных робототехнических комплексов, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН).

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5А.

Научные интересы: исследование природных возобновляемых энергетических потоков. Разработка методов, устройств и энергетических комплексов на возобновляемых источниках для автономных объектов.;

Тел.: 8(423)2215545, доб. 511. E-mail: kvv@marine.febras.ru

ЛОЩЕНКОВ Владимир Васильевич, лаборатория энергетики подводных робототехнических комплексов, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН).

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5А.

Научные интересы: исследование природных возобновляемых энергетических потоков. Разработка методов, устройств и энергетических комплексов на возобновляемых источниках для автономных объектов.;

Тел.: 8(423)2215545, доб. 511. E-mail: lvv@marine.febras.ru

TECHNOLOGIES FOR CREATING MARINE INFRASTRUCTURES BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

V.V. Knyazhev, V.V. Loshchenkov

The article is devoted to the creation of marine infrastructures using renewable energy sources in the ocean, such as the thermal energy of the ocean, the energy of the Sun, wind, waves, tides and currents, salinity gradients, biomass. Possible consumers of energy in the ocean are considered, and first of all, these are autonomous uninhabited underwater vehicles (AUV) and buoys with measuring and control equipment, as well as industries, mariculture facilities and fisheries for the extraction of gas, oil and other raw materials in the ocean. Examples of developments in our country and abroad, manufactured and tested marine vehicles that use natural renewable energy sources are given. The energy density in renewable sources is not high, therefore, first of all, devices with low energy costs for propulsion, such as underwater gliders, were developed. Some of these vehicles are mass-produced, and they have carried out long-term missions in the ocean. With the help of installations that convert the energy of tidal currents, consumers are supplied with energy on some islands. Own developments are also considered, which use energy from renewable sources for mariculture complexes, underwater transport complexes and fresh water transports with the provision of energy by mixing the transported fresh water and the surrounding sea water.

Keywords: renewable energy sources, autonomous uninhabited underwater vehicles, Sun, waves, currents, tides, wind, glider.

References

1. Sichkarev V.I., Akulich V.A. Wave power stations in the ocean. Moscow: Nauka. 1989.132 p.
2. Powering the Blue Economy™: Exploring Opportunities for Marine Renewable Energy in Maritime Markets. Water Power Technologies Office. Marine Energy Program. April 2019. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/09/f66/73355-v2.pdf>
3. Gorlov A. Renewable energy sources to improve the efficiency of research of the World Ocean. Enenergy Bulletin №18,2014, p. 14-32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozobnovlyaemye-istochniki-energii-dlya-povysheniya-effektivnosti-issledovaniy-mirovogo-okeana/viewer>
4. Slesarenko V.V., Knyazhev V.V. Energy Sources for Autonomous Unmanned Underwater Vehicles. Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference, Rhodes, Greece, June 17–22, 2012, pp. 538-542.
5. Loschenkov V.V., Knyazhev V.V. Power supply of perspective complexes mariculture. 2nd Asian Wave and Tidal Energy Conference (AWTEC-2014), Tokyo Big Sight, Japan 28 July-1 August 2014, p.44.
6. Knyazhev V.V. and Loshchenkov V.V., Energy Supply of Marine Autonomous Objects from Renewable Energy Sources. Offshore, Arctic and Renewable Energy Technologies, 13th ISOPE PACOMS Symposium, Jeju Island, Korea, October 14-17, 2018.
7. Heping Xie, Zhiyu Zhao, Tao Liu, Yifan Wu, Cheng Lan, Wenchuan Jiang, Liangyu Zhu, Yunpeng Wang, Dongsheng Yang and Zongping Shao A membrane-based seawater electrolyser for hydrogen generation. Nature, 2022, Vol. 612, p. 673-678. URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05379-5.pdf>
8. Jones C., Glenn S., Schofield O. Slocum Gliders Make Historic Voyages. August 27, 2008 URL: <https://www.hydro-international.com/content/article/slocum-gliders-make-historic-voyages>
9. Niewiadomska K. Evolution, Technology and Application of the Slocum Littoral Glider. Webb Research Corporation, January 2004. URL: https://www.researchgate.net/publication/295935874_Evolution_technology_and_application_of_Slocum_gliders
10. Yanan Yang, Yanhui Wang, Zheson Ma, Shuxin Wang. A thermal engine for underwater glider driven by ocean thermal energy. Applied Thermal Engineering. 2016. 99. Pp. 455-464. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.038>
11. Gaikovich B.A. Family of underwater gliders – new perspectives. A new defense order. Strategies. 2015, №. 4 (36), pp.70-74. URL: http://oceanos.ru/s1/files/File/2015_NOZ_glider.pdf
12. NASA's SOLO-TREC robotic diver gets powered by changing ocean temperatures. May 6, 2010. URL: <https://ecofriend.com/nasas-solo-trec-robotic-diver-gets-powered-by-changing-ocean-temperatures.html>
13. SOLO-TREC (Sounding Oceanographic Lagrangian Observer Thermal RECharging) configurationPlatform: SOLO-TREC. Manufacturer: Scripps Institution of Oceanography, Scientific User: Scripps Institution of Oceanography. URL: <https://auvac.org/257-2/>
14. Buis A. NASA Demonstrates Novel Ocean-Powered Underwater Vehicle. 04.05.2010. URL: https://www.google.ru/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fcenters%2Fjpl%2Fnews%2Fearth20100405.html&psig=AOvVaw2Jkw8H2d_CrfdELo75YTJ&ust=1681274080244000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwiYpe2TgKH-AhVDSCKHf58CFgQr4kDegQIARBF
15. Seatrec offers a family of energy harvesting technologies to power underwater robots (ocean floats and gliders), platforms, and sensors in support of ocean research, national defense, and commercial industries. URL: <https://seatrec.com/products/>
16. Coxworth B. Seatrec tech uses changes in temperature to power underwater gliders. March 08, 2021. URL: <https://newatlas.com/marine/seatrec-temperature-gradient-underwater-gliders/>
17. Harvesting Energy from Ocean Temperature Differences. URL: <https://seatrec.com/technology/>

18. Falcão Carneiro J., Gomes de Almeida F. Model and simulation of the energy retrieved by thermoelectric generators in an underwater glider // *Energy Convers. Manag.*, 163 . 2018, pp. 38-49, 10.1016/j.enconman.2018.02.031 URL: https://www.researchgate.net/publication/323959371_Model_and_simulation_of_the_energy_retrieved_by_thermoelectric_generators_in_an_underwater_glider

19. Hyunjun Jung a, Subban Ch.V., McTigue J.D., Martinez J.J., Copping A.E., Osorio J., Jian Liu, Deng Z.D. Extracting energy from ocean thermal and salinity gradients to power unmanned underwater vehicles: State of the art, current limitations, and future outlook // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 160, May 2022, 112283. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/1-s2.0-S1364032122002027-am.pdf>

20. Ageev M.D. The concept of AUUV using solar energy and the energy of sea waves. *Marine technologies*. Issue 3, Vladivostok, "Dalnauka", 2000, pp. 39-45

21. Wave Glider - marine drone. Military review. May 20, 2017. URL: <https://topwar.ru/115436-wave-glider-morskoy-bespilotnik.html>

22. The Wave Glider: How it Works. URL: <https://www.liquid-robotics.com/wave-glider/how-it-works/>

23. Wave Glider. URL: <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/wave-glider/>

24. The Wave Glider. URL: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/defense/autonomous-systems/wave-glider-sharc/wave_glider_product_sheet.pdf

25. Loshchenkov V.V., Knyazhev V.V., Kopylov V.V., Kirik N.S. Marine wave power plant // *Utility model patent RU 145688, F03B13/12*, *Bul.* 2014, No. 27.

26. Hai Li, Xiaoping Wu, Zutao Zhang, Xing Tan, Yajia Pan, Chutian Dai, Dabing Luo, Ammar Ahmed, Yongsheng Xu. An extended-range wave-powered autonomous underwater vehicle applied to underwater wireless sensor networks. *iScience Article*, Volume 25, Issue 8, 19 August 2022, URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104738>

27. Saildrone Explorer Unmanned Surface Vessel (USV), USA. February 4 2022. URL: <https://www.naval-technology.com/projects/saildrone-explorer-unmanned-surface-vessel-usv-usa/>

28. Saildrone. URL: <https://pml.noaa.gov/ocs/saildrone>

29. What Is a Saildrone? URL: <https://www.saildrone.com/technology/vehicles>

30. Ageev M.D. An Analysis of Long Range AUV. Powered by Solar Energy. 'Challenges of Our Changing Global Environment'. *OCEANS '95 MTS/IEEE*, San Diego, CA, USA, 1995, pp. 809-813 vol.2, doi: 10.1109/OCEANS.1995.527311.

31. Ageev M.D. and Blidberg D.R., "Current progress in the development of a solar powered autonomous underwater vehicle (AUV). Proceedings of 1998 International Symposium on Underwater Technology, Tokyo, Japan, 1998, pp. 145-149, doi: 10.1109/UT.1998.670079. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/670079>

32. Ageev Application of solar and wave energies for long-range autonomous underwater vehicles. *Advanced Robotics*. January 2002. 16(1). p.43-55 DOI: 10.1163/156855302317413736 URL: https://www.researchgate.net/publication/220671452_Application_of_solar_and_wave_energies_for_long-range_autonomous_underwater_vehicles

33. Ageev M.D., Gornak V.E., Khmelkov D.B. On the development of an experimental sample of a solar autonomous underwater vehicle. *Vestnik of the FEB RAS*, 1998, No. 3, pp.3-11.

34. Ageev M.D., Blidberg D.R., Vaulin Yu.V., Gornak V.E., Khmelkov D.B., Shcherbatyuk A.F. Improved control system of solar ANPA and the results of tests of the device for long-term operation. *Marine technologies*. Issue 4. Vladivostok. Dalnauka, 2001, pp. 24-31.

35. Röhr J.A., Lipton J., Kong J., Maclean S.A., Taylor A.D. Efficiency limits of underwater solar cells. *Joule*, 4 (2020), pp. 840-849, 10.1016/j.joule.2020.02.005 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120300830/pdf?md5=f598db37339fcc3628936e4b3ff4a3da&pid=1-s2.0-S2542435120300830-main.pdf>

36. Mosquera A., Hung D., Hallander J., Yujing Liu. Minesto Deep Green - Optimisation of the Power Take-off System for a Novel Tidal Energy Device. July 2018 URL: https://www.researchgate.net/publication/331320622_MINESTO_DEEP_GREEN-OPTIMISATION_OF_THE_POWER_TAKE-OFF_SYSTEM_FOR_A_NOVEL_TIDAL_ENERGY_DEVICE_MINESTO_DEEP_GREEN-OPTIMISATION_OF_THE_POWER_TAKE-OFF_SYSTEM_FOR_A_NOVEL_TIDAL_ENERGY_DEVICE

37. Our technology// Minesto. URL: <https://minesto.com/our-technology>

38. Deep Green: using underwater kites to generate clean electricity// *Power Technology*. November 28, 2018. URL: <https://www.power-technology.com/features/underwater-kite-energy/>

39. Loshchenkov V. V., Knyazhev V. V. Power Supply of Mariculture Complexes. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2096 012157 (Scopus). 2021. DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012157

40. Loschenkov V.V., Knyazhev V.V. Prospects of renewable energy in the development of the Northern and Far Eastern marine basins. Environmental, industrial and energy security, collection of articles of the International scientific and practical conference on September 14–17, 2020, Sevastopol, p. 354-357.

41. Loshchenkov V.V., Knyazhev V.V. Sea Transport of Fresh Water. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2096 012167 (Scopus). 2021. DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012167

About the authors

KNYAZHEV Valery Viktorovich, Ph.D., Laboratory of Energy of Underwater Robotic Systems, Senior Researcher Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 690091, Russia, Vladivostok, Sukhanova st., 5a

Scientific interests: research of natural renewable energy flows.

Development of methods, devices and energy complexes on renewable sources for autonomous objects.;

Phone: 8(423)2215545, ext. 511

E-mail: kvv@marine.febras.ru

LOSHCHENKOV Vladimir Vasilevich, laboratory of power engineering of underwater robotic systems, researcher Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 690091, Russia, Vladivostok, Sukhanova st., 5a

Scientific interests: research of natural renewable energy flows.

Development of methods, devices and energy complexes on renewable sources for autonomous objects.;

Phone: 8(423)2215545, ext. 511

E-mail: lvv@marine.febras.ru

Recommended citation:

Knyazhev V.V., Loshchenkov V.V. TECHNOLOGIES FOR CREATING MARINE INFRASTRUCTURES BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES. *Underwater investigations and robotics*. 2023. No. 2 (44). P. 33–44. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_44_02_03. EDN: LJFTAL.