

УДК 629.584

EDN GHPYMQ

А.Д. Романов, Е.А. Романова, Т.Г. Шетулова, В.С. Макаров
РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОЙ ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМОЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
 Нижний Новгород, Россия

Предложена воздухонезависимая энергетическая установка на высокометаллизированном топливе, совмещенная с механизмом изменения плавучести. Приведены принципиальная схема установки и схема работы механизма изменения плавучести. Оснащение подводного аппарата воздухонезависимой энергетической установкой значительно повышает подводную автономность. Актуальность работы определяется тем, что, несмотря на относительно малые размеры Северного Ледовитого океана, он оказывают сильное влияние на состояние климата Земли, являясь индикатором глобальных климатических изменений. В последние годы в мире предпринимаются значительные меры по созданию различных арктических программ, в ходе которых требуются значительные топливные ресурсы.

Ключевые слова: воздухонезависимая энергетическая установка, глайдер, бионические системы, биоподобные, природоподобные системы.

Представления об океанографии Арктики постоянно уточняются в рамках различных международных проектов. В работе [1] показан опыт применения автоматических дрейфующих устройств для исследования арктических акватории. Возможность применения различных моделей циркуляции Северного Ледовитого океана показана в работах [2-6]. Дистанционные системы зондирования в основном ориентированы на измерение площади льда. Также существует ограниченная, но постоянно пополняемая сеть буев.

В работе [7] рассматривается задача определения требуемой энергоемкости аккумуляторной батареи малогабаритного необитаемого подводного аппарата по заданной дальности подводного хода. Одно из первых применений дизель-электрической подводной лодки показано в работе [8], однако наличие ледового покрова делает ограниченным, а по факту практически не возможным, применение для подводных аппаратов классических дизель-электрических энергетических установок. В работах [9-11] показан опыт разработки и внедрения воздухонезависимых энергетических установок.

Десятки лет успешно применяются дрейфующие буи-профилографы, дальнейшим развитием которых являются глайдеры [12, 13]. В работе [14] показаны результаты разработки системы изменения плавучести подводного аппарата. Наиболее популярные в настоящее время варианты механизмов изменения плавучести, нашедшие практическое применение в составе глайдеров, показаны на рис. 1 [15-17].

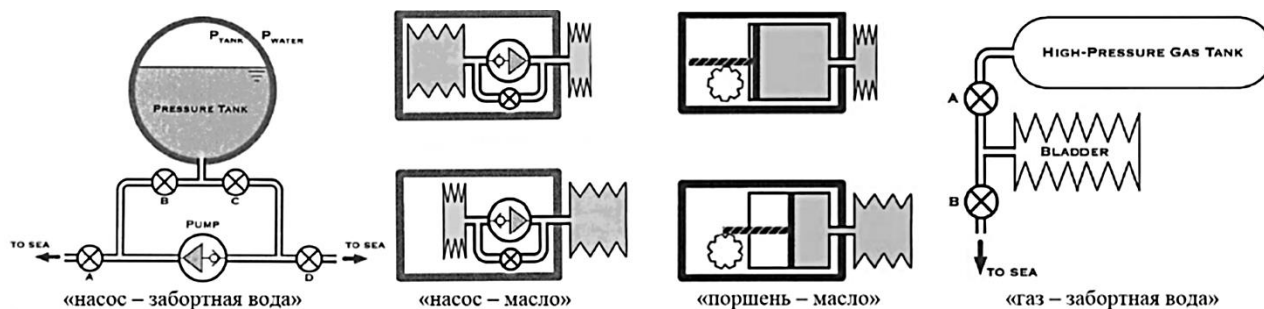


Рис. 1. Варианты реализации механизмов изменения плавучести

В работе [18] рассмотрены особенности плавания роботов-рыб (Robot-fish). Морфологию типов движителей плавающих гидробионтов иллюстрирует рис. 2 и 3 [19, 20]. Самой скоростной из рыб является меч-рыба, у которой максимальная скорость плавания 60 уз. Поэтому проводятся различные исследования в области биогидромеханики [21]. В работе [22] рассматриваются различные схемы бионических подводных роботов. Основными способами передвижения под водой являются: *Jet*, *Body / Caudal Fin*, *Median / Paired Fin*. Направление гидрореактивного движения (*Jet*) используют, например, медузы, но данное направление сложно в реализации с неясными перспективами. При этом по различным схемам движения рыб построено значительное количество экспериментальных образцов.

При использовании схемы *Body / Caudal Fin* тело совершает волнообразные колебания. В зависимости от задействования, в движении мышц/объема тела можно выделить следующие типы: угреобразные, доставридообразные, ставридообразные, тунцовые, кузовковые (рис. 1) [17, 18, 22].

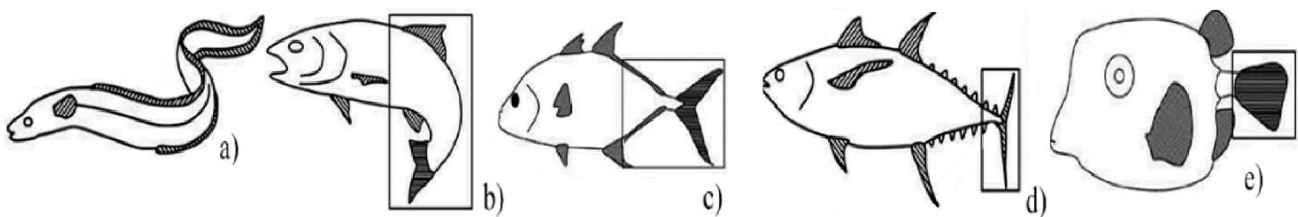


Рис. 2. Основные типы Body/Caudal Fin:

a – угреобразные, *b* – доставридообразные, *c* – ставридообразные, *d* – тунцовые, *e* – кузовковые

При использовании схемы *Median/ Paired Fin* движение происходит за счет использования срединных и парных плавников. Схемы движения можно разделить на следующие основные группы: скатообразные, губанообразные, гимнотообразные, двузубообразные (рис. 3) [17, 18, 22].

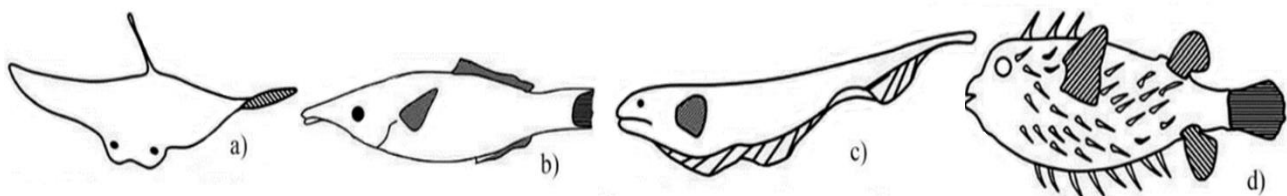


Рис. 5. Основные типы Median/ Paired Fin:

a – скатообразные, *b* – губанообразные, *c* – гимнотообразные, *d* – двузубообразные

В качестве «мышц» у роботов-скатов часто используются материалы с эффектом памяти, пьезоэлементы и т. д. [23]. Для дальнейших работ по созданию глайдера с воздушно-независимой энергетической установкой была выбрана схема «скат», но с задействованием других особенностей данной схемы: фактически скат представляет собой глайдер с развитым крылом.

Целью настоящей работы является создание системы *энергоустановка – движитель* для перспективного комплекса мониторинга подводной обстановки на основе аппаратов с большей автономностью. Были предложены: система первичной генерации теплоты на основе горения массива высокометаллизированного топлива, оснащенная системой хранения и подачи кислорода, теплогенерирующий и теплоаккумулирующий блоки, система преобразования тепловой энергии в электрическую, система использования тепла в механизме изменения плавучести и силовых приводах. В работах [24, 25] показан опыт применения как металлов, так и неметаллов в различных условиях окисления. Удельная

теплота сгорания алюминия в 1,2-1,6 раза выше, чем у углеводородного горючего за счет меньшего расхода окислителя. Кроме того, преимуществом применения металлов в качестве топлива является отсутствие систем утилизации продуктов сгорания, которые занимают дополнительный объем и/или требуют затрат энергии для удаления продуктов сгорания за борт. В случае применения алюминия продукты сгорания являются тепловым аккумулятором.

В ходе работ по созданию энергетической установки [26] были решены следующие задачи:

- создан экспериментальный стенд комплексного исследования горения массива высокометаллизированного топлива с получением тепловой энергии;
- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена безопасность применения данной ВНЭУ с указанием оценок риска развития аварийных ситуаций, включая запроектные аварии.

На рис. 4 приведена принципиальная энергетической установки.

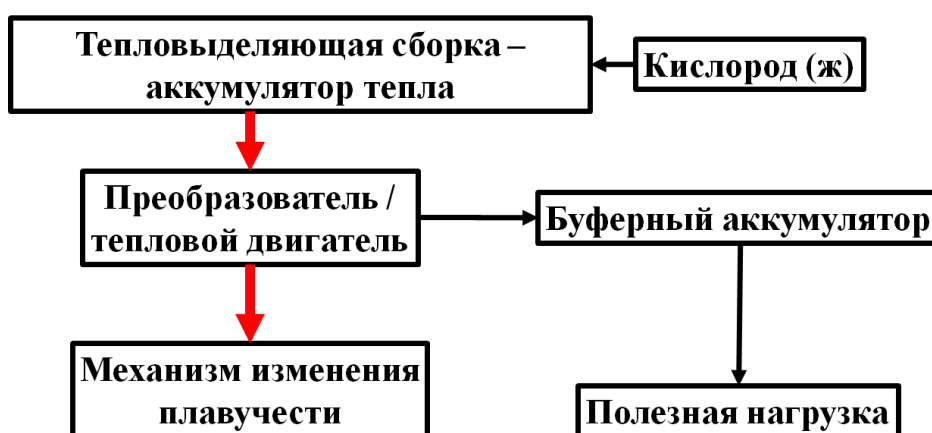


Рис. 4. Схема преобразования тепловой энергии

В разрабатываемой энергетической установке большая часть тепловой энергии поступает в механизм изменения плавучести на основе изменения агрегатного состояния рабочего тела. Это позволяет значительно увеличить подводную автономность аппарата за счет того, что тепловая энергия не преобразуется в механическую или электрическую, а используется для изменения агрегатного состояния рабочего тела. На рис. 6 приведены примеры испытаний механизма изменения плавучести с различным составом. Наглядно видно изменения объема при охлаждении ниже температуры плавления.

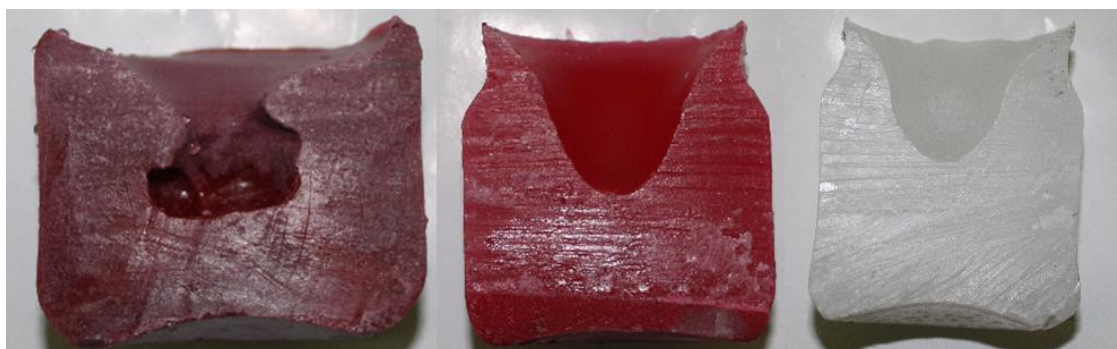


Рис. 6. Примеры испытаний механизма изменения плавучести с различным составом

На рис. 7 показана принципиальная схема работы механизма изменения плавучести.

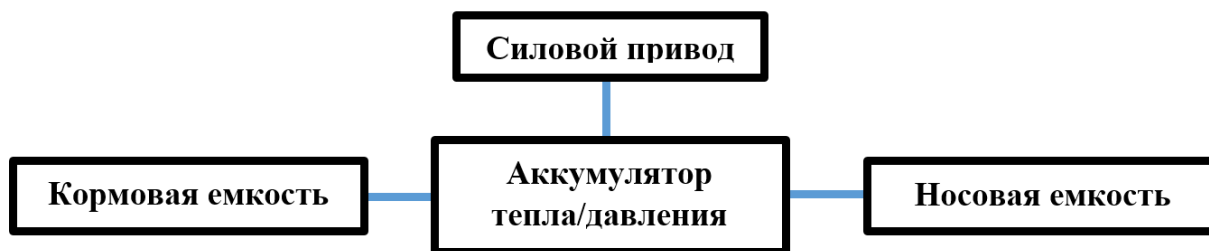


Рис. 7. Схема работы механизма изменения плавучести с носовой и кормовой емкостями и одним силовым приводом

Принцип работы: за счет подвода/отвода тепла меняется агрегатное состояние рабочего тела аккумулятора тепла/давления, при этом меняется его объем; при необходимости изменить глубину погружения и обеспечить движение давление передается в носовую или кормовую емкость, при этом меняется объем данной емкости и обеспечивается изменение плавучести и, как следствие, меняется глубина погружения. Для изменения конфигурации «крыла» давление передается на силовой привод (силовые привода), при этом не меняются объем и плавучесть.

Заключение

Преимуществами энергетической системы являются: высокая удельная теплота сгорания, отсутствие систем утилизации продуктов сгорания, меньший расход окислителя (кислорода) и, как следствие, меньший объем систем хранения.

Применение разрабатываемой энергетической установки позволяет значительно увеличить дальность подводного хода за счет того, что большая часть тепловой энергии расходуется в механизме изменения плавучести без преобразования в электрическую. Кроме того, работа установки не зависит от глубины погружения. Использование схемы «скат» позволяет увеличить дальность, которую проходит гладыр при погружении или всплытии, за счет изменения конфигурации крыла.

Библиографический список

1. Писарев, С.В. Опыт применения автоматических дрейфующих устройств для исследования водной толщи и ледового покрова Арктики в начале XXI в / С. В. Писарев // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4(8). С. 066-075. EDN PXDAKN.
2. Белокопытов, В.Н. Факторы, снижающие эффективность работы систем оперативных океанографических прогнозов в Арктическом бассейне // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 2 (194). С. 21-27. DOI 10.22449/0233-7584-2017-2-21-27. EDN XTCKVN.
3. Никифоров Е.Г. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана / Никифоров Е.Г., Шпайхер А.О. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 269 с.
4. Некипелов, А.Д. Перспективы фундаментальных научных исследований в Арктике / А. Д. Некипелов, А. А. Макоско // Арктика: экология и экономика. 2011. № 4(4). С. 014-021. EDN PXCZNL
5. Яковлев, Н.Г. Современное состояние и проблемы моделирования циркуляции в Арктических морях // Труды Государственного океанографического института. 2015. № 216. С. 6-23. EDN YPDENB.
6. Саркисян, А.С. Моделирование обратных связей климатообразующих процессов в Северном Ледовитом океане / А.С. Саркисян, С.Н. Мошонкин, Н.А. Дианский [и др.] // Арктика: экология и экономика. 2013. № 1(9). С. 012-023. EDN PYCHOR.

7. **Костенко, В.В.** Определение параметров энергосиловой установки автономного необитаемого подводного аппарата по заданной дальности хода / В.В. Костенко, Д.Н. Михайлов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3(140). С. 70-73. EDN PYMMVP.
8. **Ажажа, В.Г.** Подводная лодка в научном поиске / В.Г. Ажажа, О.А. Соколов – М., 1966. – 112 с.
9. **Чернышов, Е.А.** Развитие воздухонезависимых энергетических установок подводных лодок / Е.А. Чернышов, Е.А. Романова, А.Д. Романов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 5(33). С. 140-152. DOI 10.21821/2309-5180-2015-7-5-140-152. EDN ULWVGJ.
10. **Замуков, В. В.** Выбор воздухонезависимой энергоустановки неатомных подводных лодок / В.В. Замуков, Д.В. Сидоренков // Судостроение. 2012. № 4. С. 29-33.
11. **Дмитриев, А.Л.** Автономные комбинированные энергоустановки с топливными элементами, работающие на продуктах гидротермального окисления алюминия / А.Л. Дмитриев, В.К. Иконников, А.И. Кириллов [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. 2008. № 11(67). – С. 10-16. – EDN JXOAEJ.
12. **Гайкович, Б.** Подводные глайдеры-роботы для исследования и мониторинга арктических акваторий // Корабел. 2015. №4 (30). С.126-130.
13. Tadahiro Hyakudom Design of Autonomous Underwater Vehicle // International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 8, No. 1 (2011).
14. **Гой, В.А.** Малогабаритная система регулирования плавучести / В.А. Гой, В.В. Костенко // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2015. Т. 6. С. 113-117. EDN ZEHGOD.
15. Tangirala and J Dzielski. A Variable Buoyancy Control System for a Large AUV // IEEE Journal of oceanic engineering, 32(4):762-771, 2007.
16. **Harold Franklin Jensen III.** Variable Buoyancy System Metric. Report Master of Science in Mechanical Engineering // Massachusetts Institute of Technology, 112, 2009.
17. **Кузьмицкий, М.А.** Автономные подводные роботы на бионических принципах локомоций / М.А. Кузьмицкий, М.Р. Гизитдинова // Подводные исследования и робототехника. 2006. № 2. С. 53-58. EDN JVTOOH.
18. **Raj, A.** Fish-inspired robots: design, sensing, actuation, and autonomy – a review of research / A. Raj, A.Thakur // Bioinspiration. Biomimetics. Vol. 11. 2016. 23 p.
19. **Lauder, G.** Fish Locomotion: Biology and Robotics of Body and Fin-Based Movements. Robot Fish / G. Lauder, J. Tangorra // Springer Heidelberg. 2015. P. 25-50.
20. **Scaradozzi, D.** BCF swimming locomotion for autonomous underwater robots: a review and novel solution to improve control and efficiency / D. Scaradozzi, G. Palmeri, D. Costa, A. Pinelli // Ocean Engineering. Vol. 130. 2017. P. 437-453.
21. **Першин, С.В.** Основы гидробионики / С.В. Першин. – Л.: Судостроение, 1988, 264 с.
22. **Филатов, А.Л.** Обзор существующих подходов к построению бионических подводных роботов / // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2019. Т. 8. С. 167-172. EDN BLRZGP
23. **Chu, W.** Review of Biomimetic Underwater Robots using Smart Actuators / W. Chu, K. Lee, S. Song, M. Han at al. // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. Vol. 13. No. 7. 2012. P. 1281-1292.
24. **Ягодников, Д.А.** Воспламенение и горение порошкообразных металлов / Д.А. Ягодников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 424 с.
25. **Шидловский, А.А.** Основы пиротехники / А.А. Шидловский. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
26. **Чернышов, Е.А.** Разработка тепловыделяющего элемента на основе высокометаллизованного безгазового топлива / Е.А. Чернышов, А.Д. Романов, Е.А. Романова // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2015. № 6 (105). С. 74-81. EDN VKEBSF.