

УДК 551.461/467:62

Структурная оптимизация волнового гидроглайдера

Радченко А.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

Гостилевич С.О., учащийся

Россия, 111538, г. Москва, ГБОУ гимназия № 1512

*Научный руководитель: Северов С.П., д. т. н., профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

kafsm11@sm.bmstu.ru

Роботостроение, в условиях общего ускорения развития техносферы, инициирует спектр новых ведущих направлений научных исследований. В их числе – подводная робототехника. Поскольку на нашей планете степень изучения мирового океана, поверхность которого составляет около $2/3$ поверхности Земли, мала, то он вызывает большой интерес у исследователей. Следовательно, конструирование подводных роботов и аппаратов для изучения мирового океана, а также аппаратов для подводной и морской индустрии имеет большое значение. В результате быстрого развития высоких технологий открылись новые перспективы для эволюции морской робототехники и достижения результатов казавшихся недостижимыми по принципиальным физическим ограничениям. Например, автономия – способность аппарата длительно функционировать без внешнего управления и источников собственного энергопитания. В этом направлении, по-видимому, наиболее значительные достижения принадлежат гидроглайдерам. Поэтому автономные морские роботы – гидроглайдеры становятся очень важной ветвью инженерной океанологии и морской индустрии.

Вследствие вышеизложенного авторы выбрали эту тему для самостоятельной научной работы: изучен, так называемый, солнечный автономный необитаемый подводный аппарат (САНПА), сопоставлен с глайдером PacX Wave Glider и на его базе разработана более оптимальная модель.

Реинжиниринг PacX Wave Glider

Общий вид прототипного глайдера можно видеть на рис. 1, условно разобранный аппарат.

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/620506.html>

Выделены три основные агрегатные конструкционные сборки: лодка – надводная плавучая часть, подводный движительно-рулевой агрегат и связывающий их кабель-трос (длина которого на рисунке условно сокращена).

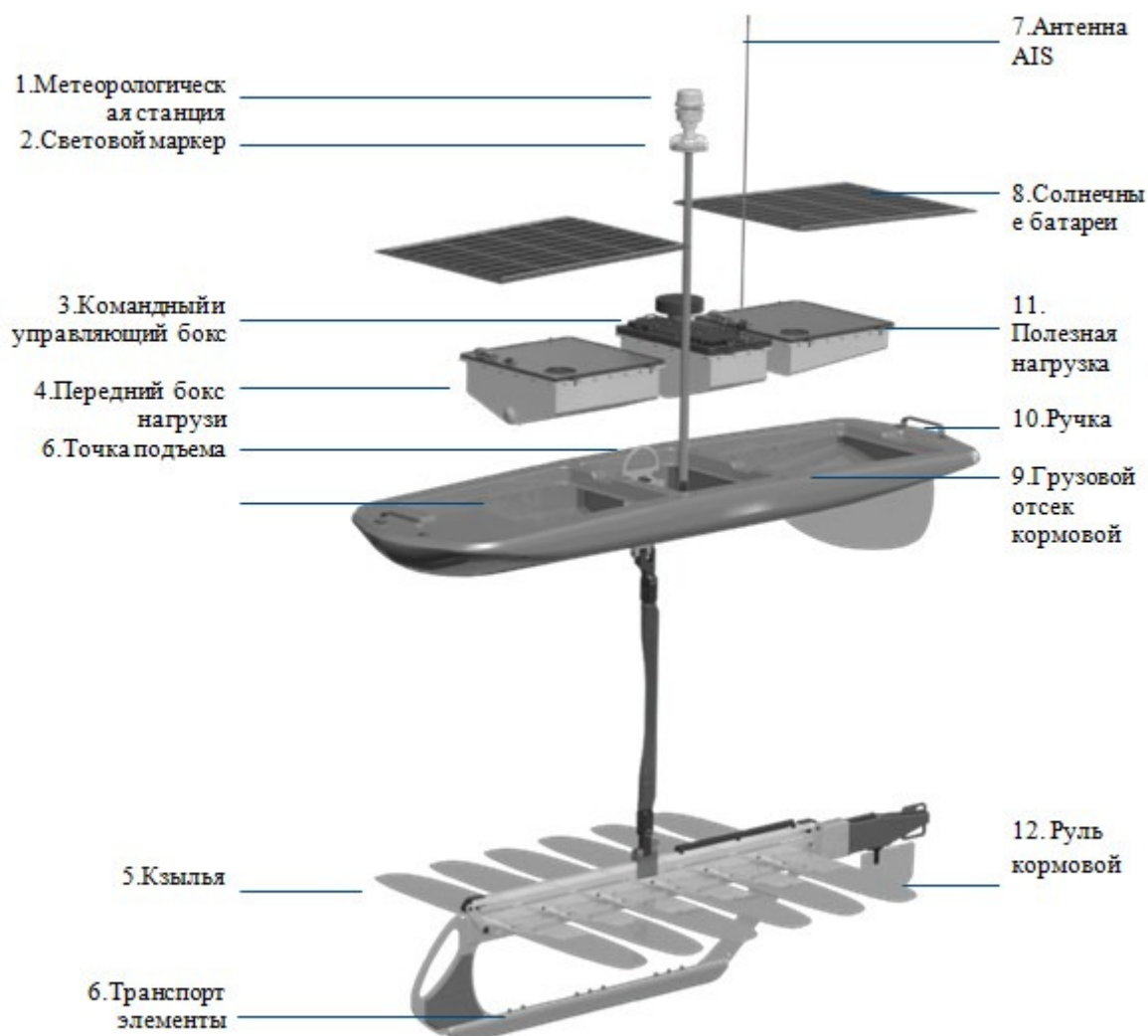


Рис. 1. Общий вид PacX Wave Glider

Обозначены:

1. Метеорологическая станция глайдера
2. Световой маркер - маяк
3. Центральный командно-контрольный сухой бокс.
4. Передний сухой бокс полезной нагрузки
5. Подвижные крылья буксирно-двигательного комплекса
6. Кронштейн съемно-устанавливаемой полезной нагрузки

7. AIS антенна глайдера
8. Солнечная батарея глайдера
9. Кормовой сухой бокс полезной нагрузки
10. Ручка для переноски глайдера и спуска на воду
11. Задний сухой отсек полезной нагрузки аппарата
12. Кормовой руль движительного комплекса

Названия указанных элементов отражают их предназначение, которое при необходимости можно развить и представить более подробно.

Гидроглайдер PacX Wave Glider состоит из трёх функциональных блоков: надводной лодки (FLOAT), несущего кабеля (UMBILICAL) и подводного блока (SUB). Такая функциональная декомпозиция соответствует конструкционной.

Блок SUB используется для преобразования механической энергии волн непосредственно в энергию механического движения глайдера.

Для изучения поверхностного слоя океана, для управления маршрутом, для управления движительно-рулевым комплексом лодка содержит датчики различного типа, буферные аккумуляторы, солнечные батареи, блок коммуникации со спутниковыми системами связи и навигации связи и «мозг» аппарата – блок электроники.

Кабель-трос связывает лодку FLOAT с блоком SUB.

Лодка (FLOAT)

На лодке располагаются: метеостанция (1), световой маяк (2), центральный командно-контрольный сухой бокс (3), передний бокс полезной нагрузки (4), AIS антенну (7), солнечную батарею (8), кормовой сухой бокс полезной нагрузки (9), ручку (10), кормовой сухой отсек полезной нагрузки (11) и датчики.

Подводный блок (SUB)

Блок SUB состоит из крыльев (5), кронштейна полезной нагрузки (6), одновременно выполняющего роль элемента гайдропа и шасси, а также руля (12) управления курсом.

Способ движения представляется приведенными ниже схемами переориентации и передвижения надводной части, подводной части и кабель-троса гидроглайдера (Рис. 2):

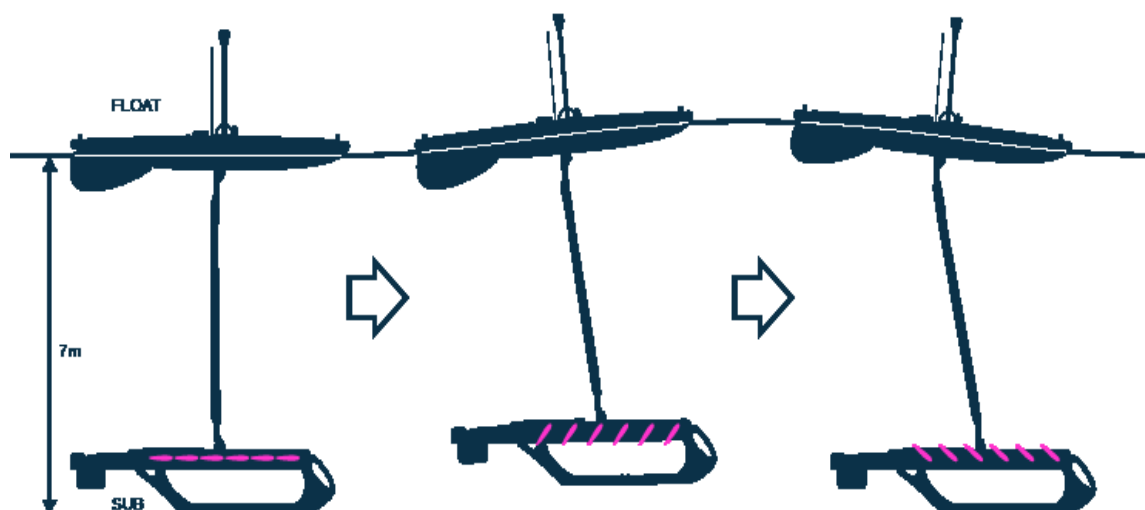


Рис. 2. Принцип движения гидрогライダーа за счет морских волн

При подъеме верхнего уровня свободной поверхности воды крылья поворачиваются из горизонтального состояния в кабрирующее состояние с положительным углом тангажа так, что при движения вверх RusX Wave Glider приобретает тянущую силу на блоке SUB. Блок движется вперед и буксирует за собой надводный блок. При снижении уровня воды и движении аппарата вниз крылья поворачиваются в направлении пикирования, принимая отрицательные значения угла тангажа, вследствие чего тянущая сила по-прежнему направлена вперед. Основные технические параметры глайдера представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Общие характеристики

Размеры лодки LxB=208cm x 60cm	Автономность – 1 год
Размеры Sub: LxB=40 cm x 191cm	Скорость – то 0,2 до 4 узлов
Длина кабеля 7 метров	Погружение лодки – до 2 м
Крылья: 107cm в ширину	Наблюдаемость – бесшумный, слабая видимость.
Вес на воздухе – 90кг	Транспортировка –авто- и аэро-перевозками
Водоизмещение – 150 л	Переноска – двумя операторами

Безопасность

Место расположения: определяется по радио маяку; обозначается световым, активирующимся с берега, маяком; повторяется резервным Iridium отражателем.

Сохранность конструкции аппарата и его оборудования обеспечивают бортовые датчики давления, температуры и натекания воды в корпусе.

Тип батареи: секционированные, изолированные друг от друга, погружные батареи; автоматический заряд-разрядный переключатель в зависимости от температуры и напряжения.

Защита от морских животных: отделение кабель троса от лодки, если случайно поднырнувшее животное запутается. Подъем плавучей лодки на борт обслуживающего судна, доукомплектование аппарата запасным подводным блоком и спуск на воду.

Полезная нагрузка

Архитектура полезной нагрузки – модульная. Для обеспечения общего поддержания интегративного функционирования глайдера используются механические, электрические и программные интерфейсы подсистем. В числе прочих используется датчик скорости движения аппарата в воде и АИС приемник (AIS Antenna).

Энергоснабжение. Движитель – решетка гидродинамических крыльев, интерцепторного типа, осуществляющая прямое преобразование энергии волны в тянущую силовую нагрузку буксирного кабель-троса и, соответственно, в энергию движения аппарата. Аккумуляторная батарея – 665 Ватт-часов, литий-ионная. Солнечная батарея – 80 Вт для буферизации и подзарядки аккумуляторной батареи, для питания бортовой электроники и оборудования. Полезная нагрузка портов 3A/13, 2B; PER port: 5A/13.2V; глайдер-порт: 1A/13, 2B. Система максимум: непрерывно 5A/ на 13, 2B.

Операции. Управление – путевое на маршруте и конечными точками. Мониторинг, проверка систем – тестовые и визуальные индикаторы состояния, доступны через веб-интерфейс, SMS и электронную почту. Автономная навигация – по программируемым точкам, САНПА-глайдер следует к ним и держится их.

Преимущества и недостатки конструкции аппарата. Фактическое достижение глайдеров: рекордно дальние тихоокеанские переходы глобально – планетарного масштаба, без каких либо традиционных энергоносителей на борту, кроме буферного аккумулятора. Известно, что группа из четырех роботов, побила мировой рекорд дальности (4630 км), пройдя путь – 5926 км (зафиксировано в книге рекордов Гиннеса). Недостатком является большая осадка, невозможность использования на мелководье и механическая уязвимость при взаимодействии движителя с дном.

Цели последующих миссий глайдеров

По мнению разработчиков, аппараты должны использоваться в прежде неисследованных областях океана и собирать сведения о биохимических процессах, в частности о процессах окисления воды, а также о тенденциях изменения численности косяков рыб и т.п. Глайдеры типа САНПА также могут патрулировать границы, для предотвращения несанкционированного проникновения в специальные акватории. Благодаря своей автономности он может делать это постоянно и более эффективно, чем пограничники. Глайдер может выполнять множество других исследований. Для этого может быть использован бортовой комплекс датчиков и первичных преобразователей фоновых параметров среды. Схема расположения и перечень датчиков волнового глайдера РасХ представлены соответственно на Рис. 3 и в Таблице 2.

Датчики:

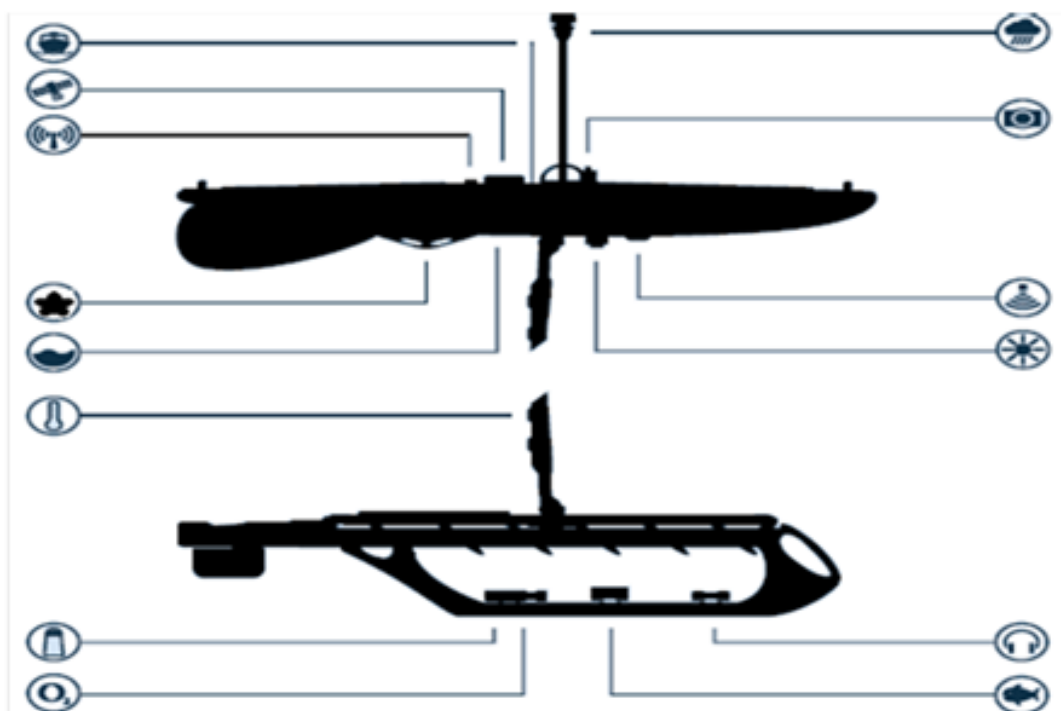


Рис. 3. Схема расположения датчиков волнового глайдера РасХ

Таблица 2

Датчики глайдера РасХ

SENSOR		Камера		ADCP		Акустический модем
		Метеорологическая станция		Флуориметр		Иридий: SBD/RUDICS

		Датчик волн		Датчик проводимости		Сотовые/РФ
		Датчик рыб		Датчик растворенного кислорода		АИС
		Гидрофон		Датчик температуры		

По результатам исследования конструкции аппарата авторами выявлены следующие недостатки в конструкции аппарата:

1. Большая осадка подводного блока (7м).
2. Ненадежность конструкции.
3. Больше гидродинамическое сопротивление кабеля.

Анализируя альтернативные технические решения, авторы пришли к выводу, что для устранения недостатков целесообразно установить волновой генератор и уменьшить размеры подводной части аппарата.

Волновой генератор.

В результате предварительных исследований и физического макетирования авторы пришли к выводу, что перспективным вариантом электрогенератора является генератор на основе физического маятника. Структурная схема генератора представлена на Рис. 4.

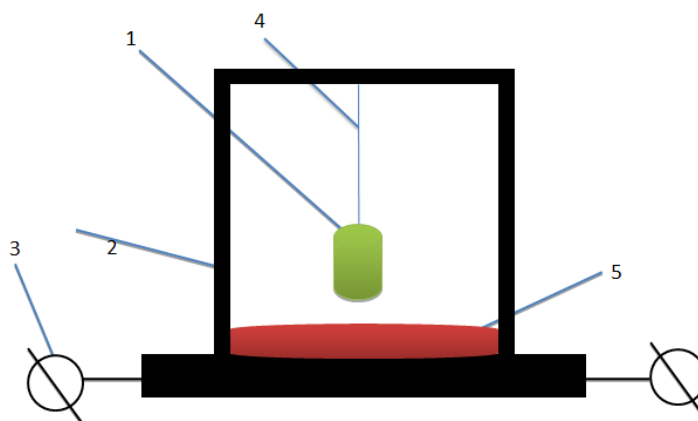


Рис. 4. Структурная схема волнового генератора

Его структурными элементами являются: 1. Магнит; 2. Корпус; 3. Клемма аккумулятора; 4. Нить подвеса; 5. Катушка.

При качке аппарата на волнах корпус с катушкой отклоняется от положения равновесия и совершает движение относительно магнита, в результате чего в катушке вырабатывается ток. Пусть магнит находится в положении равновесия, тогда через катушку проходит магнитный поток $\Phi = SB_{max}$. Принцип работы волнового генератора представлен на Рис. 5.

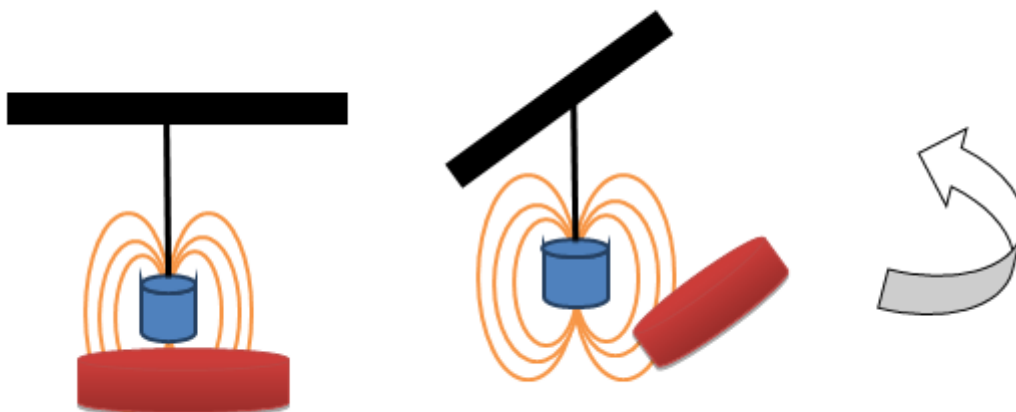


Рис. 5. Принцип работы волнового генератора

Пусть из-за волны корпус поворачивается против часовой стрелки. Тогда магнитный поток в витке $\Phi = SB_{min}$. Следовательно, $\Delta\Phi = S(B_{max} - B_{min})$. Соответственно, $\mathcal{E}ДС = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{S(B_{max} - B_{min})}{\Delta t}$. Пусть T – это период регулярного морского волнения. Так как за период корпус вначале отклоняется от состояния равновесия, а потом возвращается в исходное состояние дважды, то $\Delta t = \frac{T}{4}$, следовательно, $\mathcal{E}ДС = \frac{S(B_{max} - B_{min})}{\frac{T}{4}} = \frac{4S(B_{max} - B_{min})}{T}$.

Рассмотрим направление электрического тока при смещении магнита. Пусть северный полюс находится внизу тогда, если магнит движется в плоскости, то, по правилу Ленца в положениях 1,3 катушка будет притягивать магнит, следовательно, ток будет идти против часовой стрелки, а в положениях 2,4 ток будет идти по часовой стрелке.

Авторы провели эксперимент по использованию генератора типа математического маятника. Опыт прошёл удачно. При фронтальном волнении с высотой волны примерно 0.2 м и периодом 4 секунды генерировался ток. Структурная схема эксперимента представлена на Рис. 6.

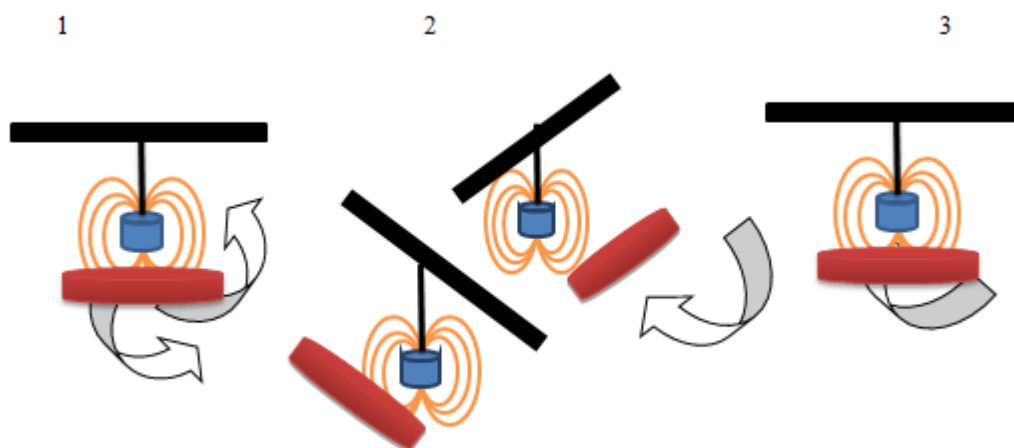


Рис. 6. Экспериментальное определение направления тока

Чтобы уменьшить осадку аппарата авторы решили убрать из конструкции движитель SUB и установить руль и изгибно-эластичный движитель-моноласт. Такой движитель является самым эффективным и наиболее экономичным из всех известных.

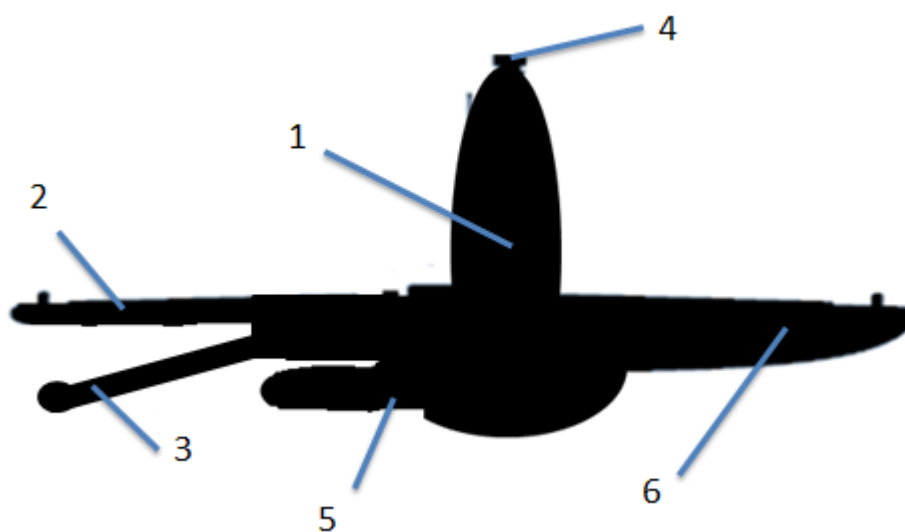


Рис. 7. Общий вид конструкции

1.Волноэлектрогенератор. 2.Неподвижная часть движителя. 3.Подвижная часть движителя. 4.Маркер и антенна. 5.Руль управления курсом. 6.Носовая часть (неизменённая).

В модифицированном варианте укорочена кормовая часть и сохранены, в качестве прототипных массово-габаритные характеристики передней части глайдера PacX Wave Glider.

На начальной стадии проектирования авторы предлагают рассматривать навигационные и остальные информационные системы, аналогичными прототипу. Из-за

преобразований масса примерно уменьшена на вес SUBa (вес кабеля примерно равен весу волноэлектрогенератора).

Преимущества:

- 1) Малая осадка.
- 2) Способность накапливать энергию волн в бортовом аккумуляторе.
- 3) Уменьшенная масса движителя и др.

Краткое описание проектируемого глайдера с линейным электрогенератором

Разрабатываемый глайдер представляет собой перепроектированный глайдер RasX компании Liquid Robotics с добавлением новых проектных решений, касающихся источников энергии и принципов движения аппарата. В отличие от предыдущего технического решения, имевшего в своей основе осциллятор типа физического маятника, в рассматриваемом варианте используется волноэлектрогенератор с линейным перемещением якоря генератора относительно статора. Соответственно, принципиальная схема осциллятора имеет вид массивного тела на упругой связи, колеблющегося под действием поступательного кинематического возбуждения корпуса аппарата.

В форме учебных проектов авторами предварительно исследованы две проектные модификации с линейным волноэлектрогенератором: а) использующей классический винтомоторный агрегат; б) предполагающей использование, в качестве движителя упругий моноласт, как показано на рисунке.

Вывод: Появившиеся сравнительно недавно волновые гидроглайдеры отличаются исключительно высокими техническими характеристиками, в частности практически неограниченной энергетической автономностью и глобальной дальностью переходов в сочетании с возможностью многофакторного океанологического мониторинга окружающей среды.

Для целей студенческой креативной инноватики наиболее перспективными являются гидроглайдеры с волновыми электрогенераторами, основанными на использовании динамических свойств угловых, поступательных и пространственных осцилляторов.

Модель волнового глайдера с линейным электрогенератором и гибким движителем.

На Рис. 8 представлено трехмерное изображение волнового глайдера с гибким движителем.

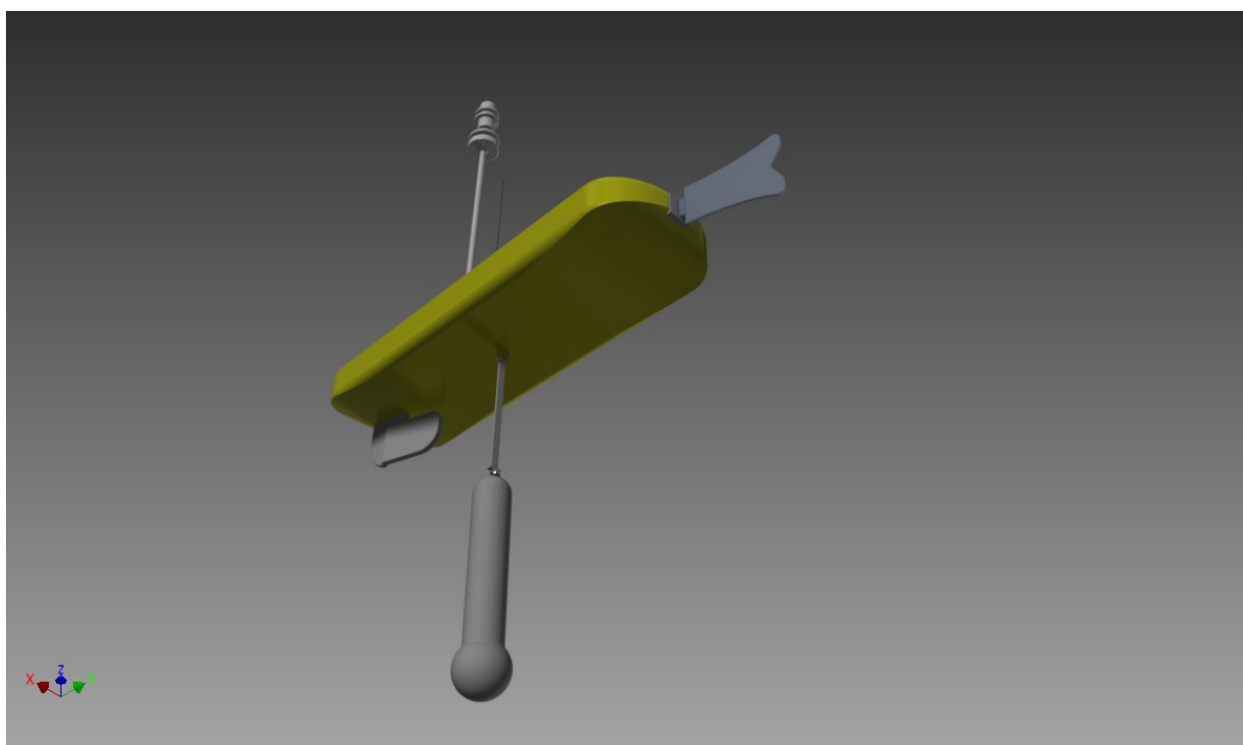
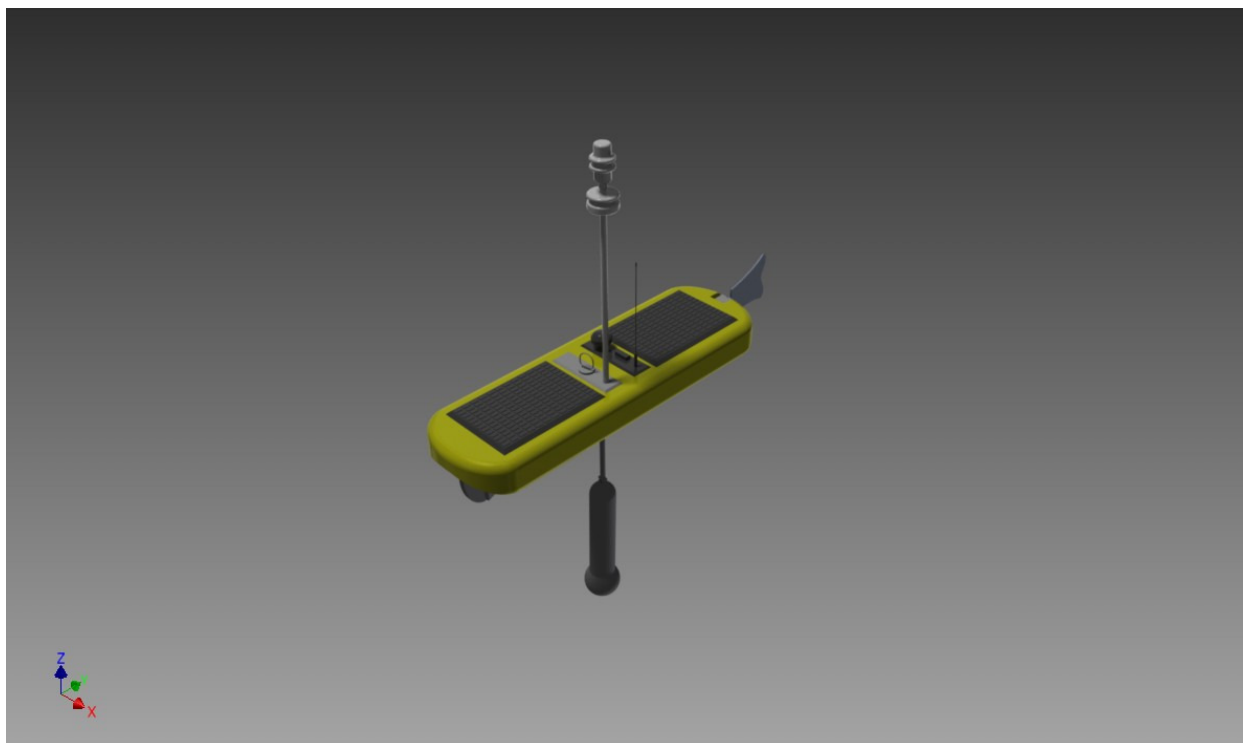


Рис. 8. 3-D модель волнового глайдера с линейным электрогенератором и гибким двигателем

Список литературы

1. Агеев М. Д., Киселев Л. В., Матвиенко Ю. В. Автономные подводные роботы: системы и технологии, Москва, "Наука", 2005 г.

2. Методы и средства океанологических исследований, Сборник Трудов и Научных конференций МГТУ им. Н.Э. Баумана и ИО РАН.
3. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М., Наука, 1989.-304 с.
4. Егоров С.А. Курс лекций «Управление роботами и робототехническими системами».
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М., Наука, 1972.-768 с.