

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ школьников «Высший пилотаж»

ПЛАТФОРМА ДЛЯ СБОРА И ХРАНЕНИЯ ПЛАВУЧЕГО МУСОРА BLACK TRASH WHALE

Проект

Направление *«Технические и инженерные науки»*

Авторы:

Калеев Антон Романович

Россия, Самарская область, г. Тольятти

Учащийся ДТ «Кванториум-63 регион», 11 класс

Егоров Георгий Алексеевич

Россия, Самарская область, г. Тольятти

Учащийся ДТ «Кванториум-63 регион», 11 класс

Галиева Регина Радиковна

Россия, Самарская область, г. Тольятти

Учащийся ДТ «Кванториум-63 регион», 11 класс

2022 г.

Аннотация.

В настоящее время загрязнение водного пространства - одна из главных проблем человечества. Многие считают, что мусор накапливается только на суше, но это не так. В океанах уже давно существуют целые мусорные острова [1]. Человек бессознательно выкидывает различные отходы в водоёмы или же в реки, через которые мусор попадает уже в моря и океаны. Существует достаточно много разнообразных проектов по очистке поверхности воды от плавучего мусора – от огромных океанских судов-мусоросборщиков [2], до маленьких дронов, предназначенных для очистки небольших водоемов и рек [3]. Для сбора плавучего мусора на водной поверхности небольших акваторий нами был разработан беспилотный дрон-мусоросборщик “Black Trash Whale” (Рис.1). Он воплотил в себе лучшие мировые разработки на эту тему и при его создании нами был разработан принципиально новый метод загрузки и выгрузки плавучего мусора, что значительно повышает эффективность работы и упрощает его использование.

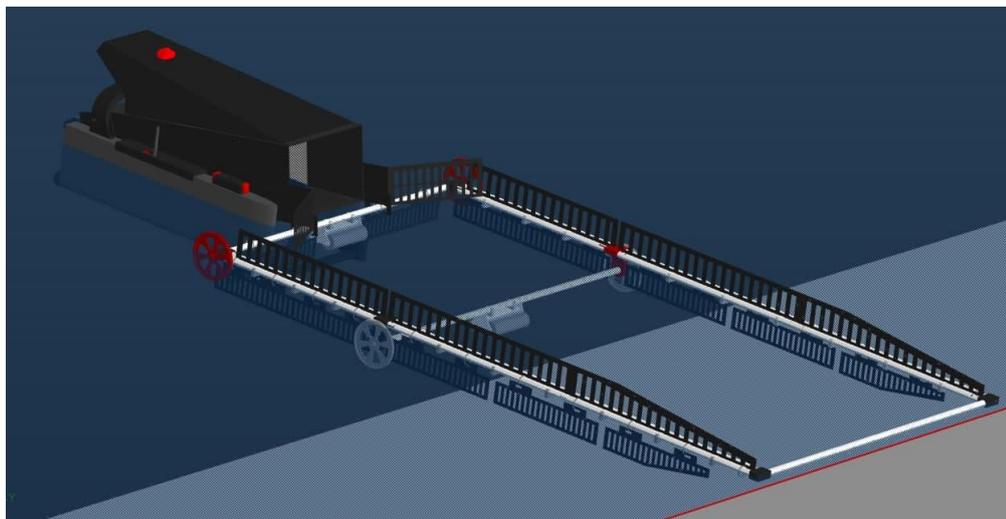


Рисунок 1. Компьютерная модель платформы для сбора и хранения плавучего мусора.

Ключевые слова: дрон-мусоросборщик, станция по сбору и хранению плавучего мусора, экология водных ресурсов, защита окружающей среды.

Введение

С каждым годом в море все больше мусора, который плавает на поверхности [1], выделяет вредные вещества и загрязняет воду, в том числе прибрежные зоны. К примеру, в Черном море уже насчитывается более 400 мусорных островов. По словам старшего научного сотрудника лаборатории экологии Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН Филиппа Сапожникова, исследователи наблюдали с самолёта целые «острова» и поля

пластикового мусора в центральной части Чёрного моря. Такого раньше не было: в центральных районах моря отдельно плавали матрасы, круги и другие надувные элементы, которые хорошо держатся на поверхности. Однако они встречались через каждые 300-400 метров. Их было много, но сплошных «островов» не было, и пластиковые бутылки в таком количестве тоже не плавали. Возможно, эту проблему можно предотвратить раньше и избежать скопления мусора. Например, вылавливать мусор у прибрежной зоны, не позволяя ему попадать в открытое море. Еще одним способом уменьшения скопления мусора в морях и океанах является сбор мусора с малых водоемов, откуда он тоже туда попадает.

Для очистки океанов и морей люди уже используют большие суда-мусоросборщики [2], а для очистки прибрежной зоны и малых водоемов небольшие дроны, в том числе и автоматизированные [3, 4]. Проанализировав существующие конструкции водных мусоросборщиков, мы решили создать свою конструкцию, которая будет не только сочетать в себе лучшие существующие наработки, а так же будет выгодно отличаться от них эффективностью сбора и простотой выгрузки мусора. При этом сможет работать как в автономном, так и в ручном режиме под управлением оператора. Сделать его достаточно мобильным и автономным тоже входило в нашу задачу.

В проекте Егоров Георгий занимался 3D моделированием и построением станции, Румянцев Никита – электроникой, пайкой, программированием и построением станции.

Техническое описание механизмов работа.

Наше устройство построено по катамаранной схеме с двумя плавучими корпусами [5] потому, что такая форма судна наиболее устойчива на воде и позволяет выполнить задачу по сбору до 45 литров плавучего мусора.

Основной идеей его работы была возможность заполнения мусорного контейнера не только за счет движения судна, но и за счет дополнительного засасывания потоком воды, создаваемым его движителем. Этим же потоком, только направленным в противоположную сторону, осуществляется и выгрузка мусора.

В качестве мусорного бака используются два контейнера, которые вставлены друг в друга (Рис.4).

Внешний контейнер - это конструкция, состоящая из пластиковых деталей, которые вырезались на станке при помощи лазерной резки. Они загибались под нужным углом и потом склеивались между собой.

Внутренний контейнер представляет сборку из перфорированных алюминиевых деталей, которые вырезались ножницами по металлу, загибались под нужным углом и скреплялись заклёпками. В него так же были внедрены пластиковые решетки для улучшения прохождения водного потока, необходимого для работы движителя, созданного на основе водомета.

В передней части мусорного контейнера была изготовлена перфорированная накладка из пластика с решеткой, которая не даёт мусору попасть в водомёт через промежуток между внешним и внутренним контейнерами, но не препятствует прохождению воды и позволяет ей поступать даже тогда, когда внутренний контейнер забит мусором, препятствующим прохождению воды к водомёту через него.

Вода с мусором поступает в мусорный бак и, так как внутренний контейнер перфорирован, спокойно проходит через него, не пропуская мусор.

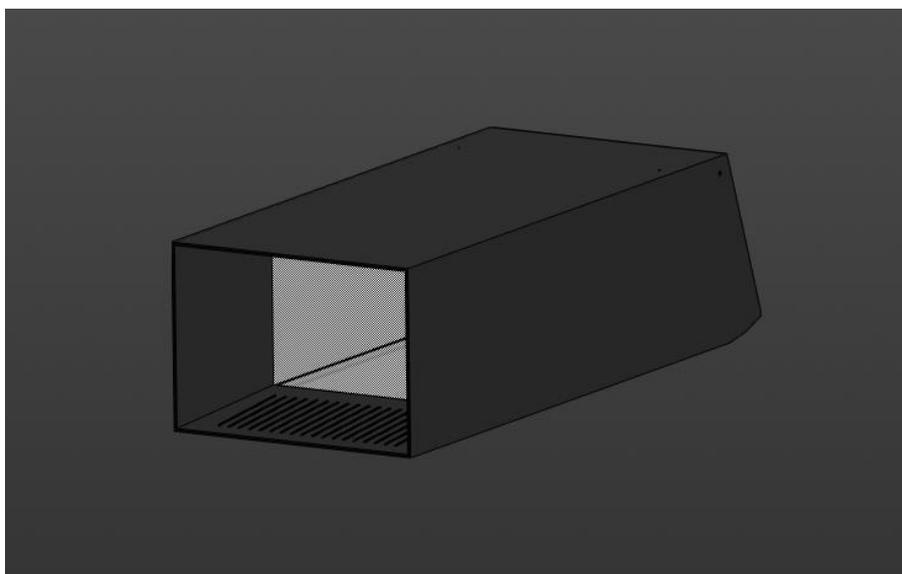


Рисунок 4. Конструкция мусорного контейнера.

Нами были рассмотрены многие способы передвижения по воде [6]. Каждый из них обладал теми или иными преимуществами, но мы решили остановиться на водомётном движителе, потому что он наиболее безопасен в тех водоемах, где могут находиться люди и животные. Отсутствие открытого гребного винта и небольшая осадка позволили собирать мусор на мелководье и даже у стенок причалов без движения дрона. Black Trash Whale подплывает к труднодоступному месту и благодаря работе самого водомёта, начинает, как пылесос, засасывать воду вместе с мусором. При этом мусор остается в контейнере, а вода беспрепятственно движется через водомет (Рис.5).

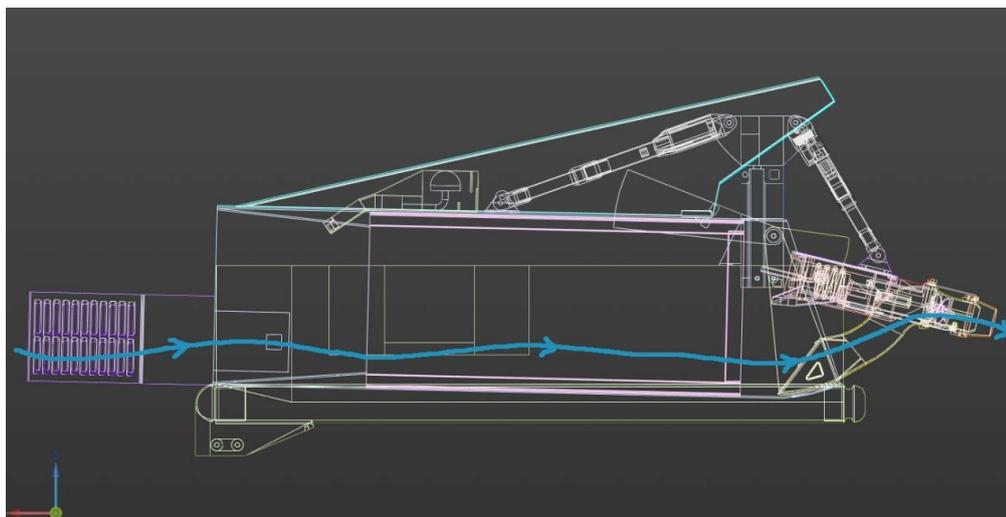


Рисунок 5. Траектория движения воды с мусором через дрон.

Корпусные детали водомёта и многие крепежные элементы сделаны с применением аддитивных технологий и отрисованы в программе Компас 3D v.18 [10, 11] и распечатаны на 3D принтерах (Рис. 6):



Рисунок 6. Корпус водомёта, созданный с применением аддитивных технологий.

Бесколлекторный мотор HobbyWing EZRun 3652SL G2 4-Pole 3300kV HW-EZRUN-3652SL-3300KV под управлением драйвера HobbyWing Seaking 60A-V3.1 2-3S Waterproof ESC используется в качестве двигателя для водомёта [7, 8, 9].

Импеллер был выбран шнекообразного типа [8] (Рис.7). потому, что он обладает наибольшим КПД по сравнению с другими импеллерами.



Рисунок 7. ИмPELLер шнекового типа для водомета.

Дейдвуд [7], сделанный из медной трубки и двух бронзовых втулок, между которыми находится смазка. Он предназначен для того, чтобы передавать вращательное движение от двигателя через сильфоновую муфту на имPELLер и изолировать от воды моторный отсек водомета (Рис. 8).

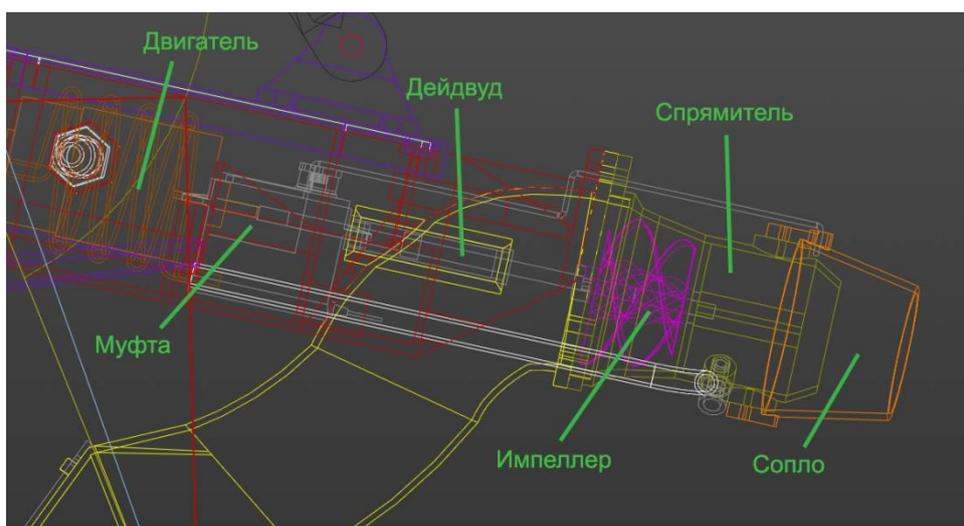


Рисунок 8. Конструкция водометного движителя.

Вращающийся в водоводе имPELLер создает разрежение и, как насос, засасывает в него воду, которая, далее, поступает в спрямитель.

Спрямитель предназначен для преобразования неравнонаправленного потока в прямолинейный и, за счет сужения диаметра, формирует реактивную струю, толкающую судно. Также в нём организована водоотводная трубка, через которую вода под давлением поступает в систему охлаждения водометного двигателя.

Сопло направляет поток под нужным углом, что позволяет поворачивать судно.

Рулевая тяга сделана из стальной проволоки, которая соединяет сопло с сервоприводом типа FS5106M.

Водомёт имеет подвижное соединение относительно мусорного контейнера и боковых поплавков. Общей осью является шпилька, жестко закрепленная на боковых поплавках и относительно нее перемещается мусорный контейнер и водомет (Рис.9).

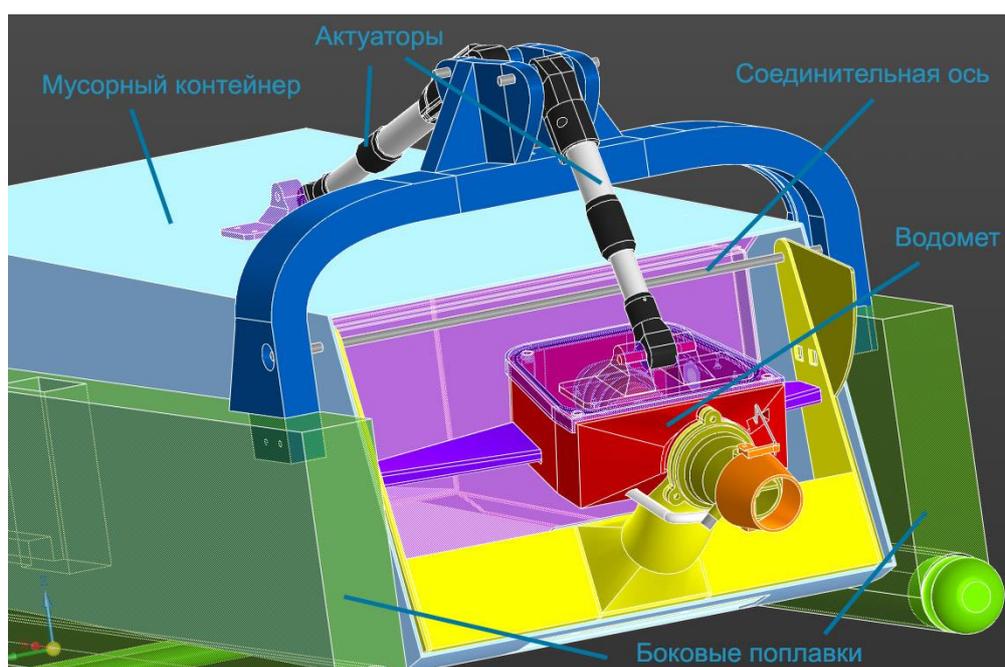


Рисунок 9. Кинематическая схема работы механизмов дрона.

В качестве подъёмников корпуса для хранения мусора и водомёта были применены 2 актуатора. Каждый из этих актуаторов имеет два положения, которые регулируются за счёт датчиков линии, установленных на боковом корпусе (Рис.10).

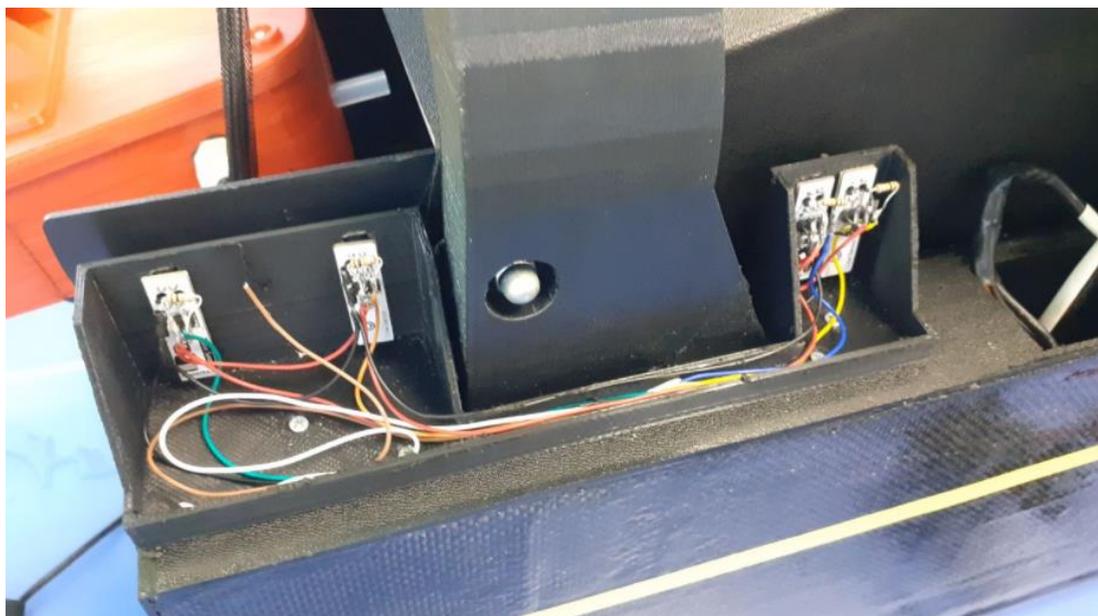


Рисунок 10. Датчики положения водомета и мусорного контейнера.

Актуатор водомета поднимает его для того, чтобы во время движения вперед его сопло находилось над уровнем воды, что значительно повышает его энергоэффективность [7, 8]. Для организации неуправляемого заднего хода и для получения потока воды, нужного для выгрузки мусора, актуатор опускает водомет так, чтобы сопло полностью погрузилось в воду. При этом двигатель включается в реверсивном направлении, и водный поток протекает от сопла к мусорному контейнеру.

Второй актуатор поднимает отсек для сбора мусора над водой в том случае, когда требуется применить задний ход. Это позволяет задержать в нем собранный мусор. В случае возврата дрона на базу с полным мусорным контейнером подъем этого отсека уменьшает сопротивление воды, что существенно сокращает энергопотребление и увеличивает скорость передвижения.

Актуаторы работают по типу винтовой передачи. Момент вращательного движения винта переходит в поступательное движение и актуаторы поднимают (опускают) водомёт или контейнер (Рис.11).



Рисунок 11. Дрон с поднятым мусорным контейнером.

Для того, чтобы оператор мог контролировать уровень заполнения мусорного бака и окружающую обстановку, спереди робота на верхнюю часть внешнего контейнера установлена камера с передатчиком, который передаёт от нее сигнал на приемник оператора. Изображение выводится на экран смартфона (Рис.12 и рис.13).



Рисунок 12. Изображение с FPV камеры, выводимое на телефон оператора.



Рисунок 13. Рабочее место оператора.

Для камеры создан пластиковый корпус, в котором находится вентилятор, обеспечивающий охлаждение передатчика (Рис.14).

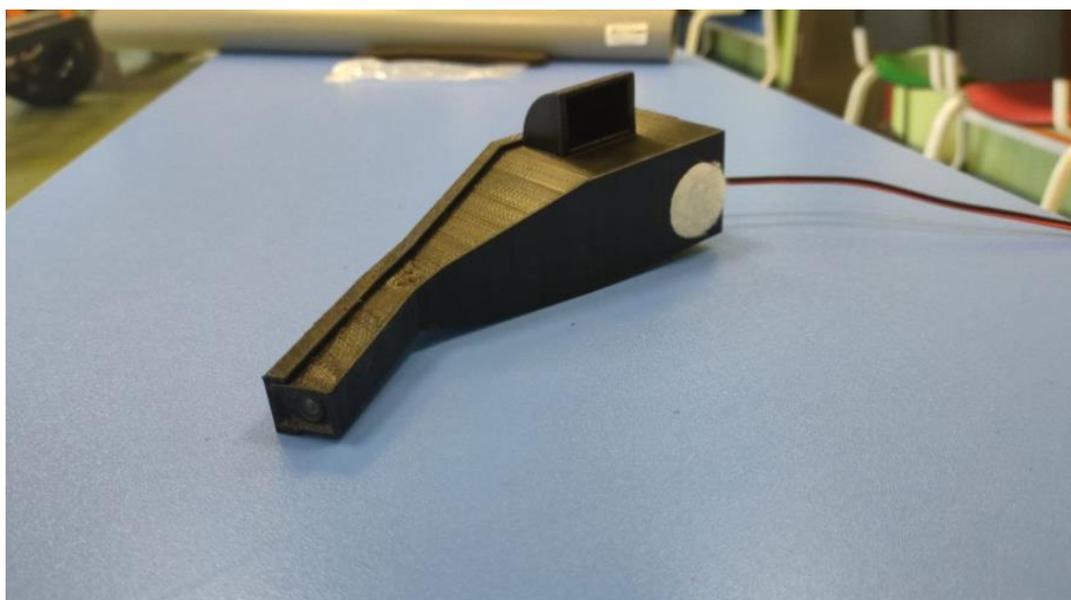


Рисунок 14. Бокс видеокамеры с передатчиком.

В работе используются такие электронные компоненты, как микроконтроллер Arduino Mega 2560.

Два драйвера – Monster Motor Shield и L293D используются для управления моторами актуаторов.

GPSмодуль-Neo 7M применяется для получения точных координат широты и долготы, которые используются при автоматическом режиме следования по заданным точкам маршрута. Электронный магнитометр в этом режиме показывает отклонение судна от заданного маршрута. Акселерометр используется для получения значения скорости судна.

При помощи радиомодулей NRF24L01 PA+LNA осуществляется связь между оператором и дроном.

Mosfet управляет сигнальным маяком.

4 датчика линии используются в механизме управления поднятия контейнера.

2 понижающих преобразователя DC-DC нужны для питания электронных плат и датчиков.

Все эти платы были смонтированы в один единый блок и размещены на боковом поплавке (Рис.15).

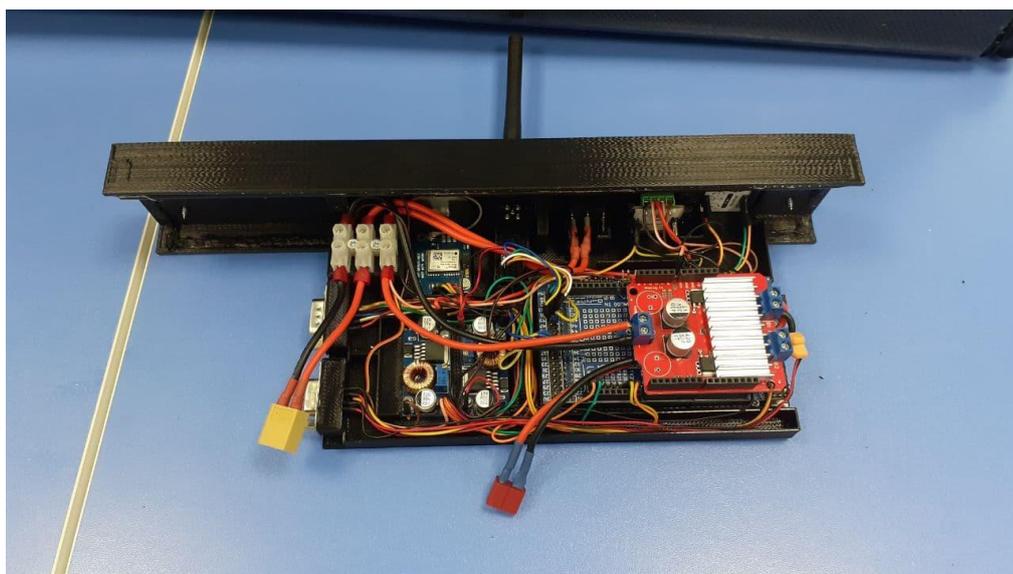


Рисунок 15. Блок электроники.

Схема электрическая принципиальная отображена на рис. 16.

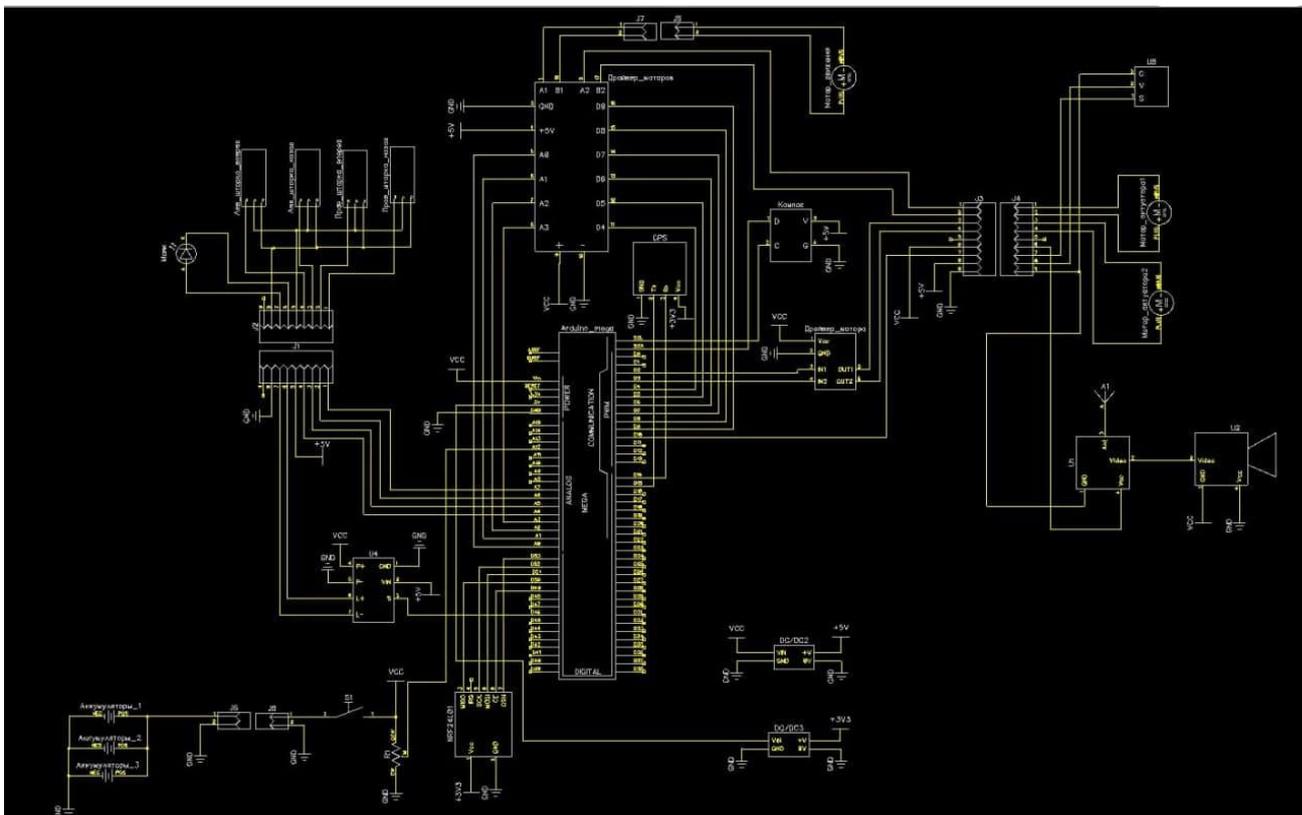


Рисунок 16. Схема электрическая принципиальная.

Для того, чтобы робот был заметным в ночное время, на крышу установлен светодиодный оповещатель (Рис.17).



Рисунок 17. Светодиодный оповещатель, установленный на декоративном кожухе.

Автономность устройства обеспечивается батареей, состоящей из 9 литий ионных аккумуляторов, напряжением 12 вольт и общей ёмкостью 9000 мА/ч, которой хватает более чем на 1 час работы мусоросборщика.

Отсек под аккумуляторы состоит из 3 деталей: герметичного пластикового корпуса, который помещается в боковой корпус; бокса под сами аккумулятор, который может вставляться в герметичный корпус и механизма на накладных защелках (Рис.18). Такая конструкция аккумуляторных блоков позволяет нашему устройству, при наличии запасных заряженных комплектов, работать без длительной остановки на их подзарядку и быть полностью независимым от внешних источников энергии.



Рисунок 18. Блоки съемных аккумуляторных батарей.

Для отправки управления роботом и получения данных телеметрии и видеосигнала нами был разработан модуль, крепящийся к ноутбуку (Рис.19). С ноутбуком он общается через порт микроконтроллера Arduino Nano. Видеосигнал, с последующей трансляцией на смартфон принимается приемником 5.8G 150CH Skydroid OTG. Связь с дроном осуществляется при помощи радиомодуля NRF24L01 PA+LNA.



Рисунок 19. Модуль электроники оператора.

Экран рабочей программы оператора был написан в конструкторе (Рис.20). На нем отображаются заряд батареи, маршрутная точка, текущие координаты, качество связи, текущая скорость и наличие связи с передатчиком. Так же через нее можно управлять роботом путем переключения режимов. Движение в ручном режиме осуществляется при помощи клавиш клавиатуры ноутбука.

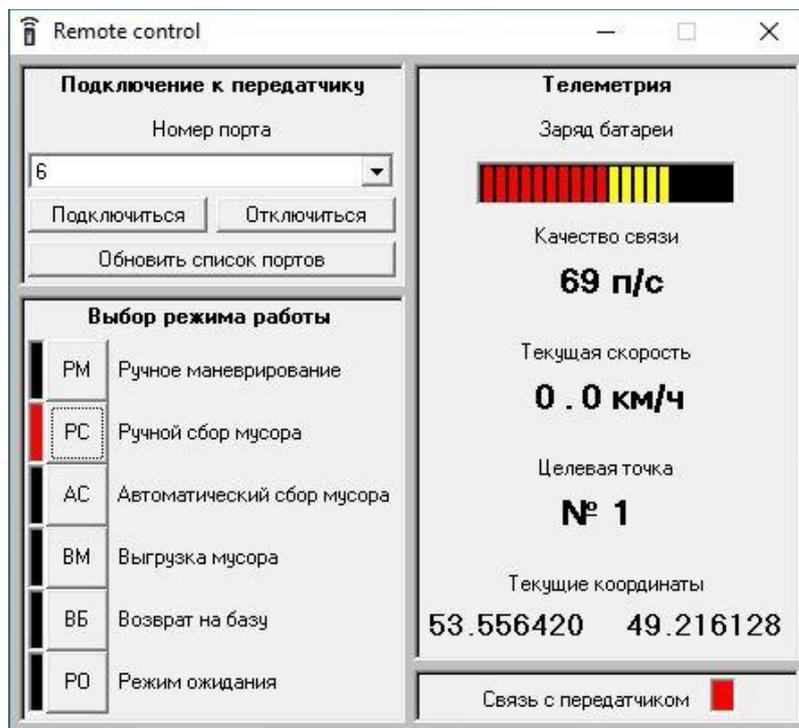


Рисунок 20. Интерфейс программы оператора.

В качестве места, где происходит выгрузка и хранение мусора, выступает плавучая станция. Она одновременно является и тележкой для спуска дрона на воду и извлечение его оттуда. (Рис.21).

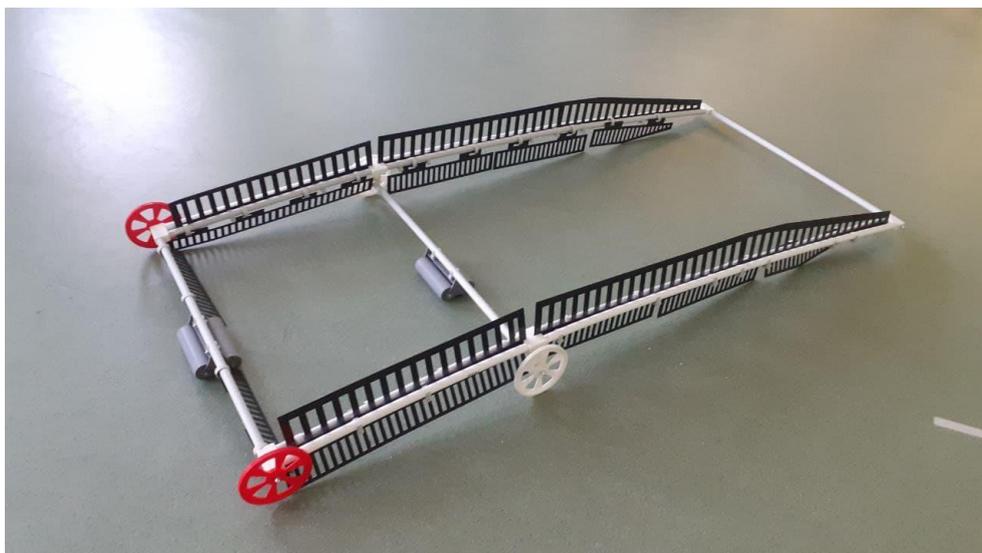


Рисунок 21. Станция для складирования мусора.

Она состоит из:

- трубчатого каркаса прямоугольной формы, усиленного стальными шпильками;
- верхнего неподвижного и нижнего саморегулирующегося пластиковых сетчатых барьеров;
- подкатных и боковых катков, предназначенных для спуска дрона на воду и извлечение его из нее.

Когда робот заплывает на станцию, его контейнер с расширительными воротами поднят. При касании поперечины с колесами, мусоросборщик опускает контейнер, и вся конструкция станции, относительно закрепленной на берегу второй поперечины, погружается под весом этого контейнера. Робот включает реверсивный ход для того, чтобы выгрузить мусор. Так как включен реверсивный ход, поток воды направлен в сторону станции и он, проходя через контейнер, вымывает мусор в ее загон. При этом расширительные ворота, фиксирующие мусоросборщик за поперечину станции специальными крючками, не дают ему отплыть.

После выгрузки мусора оператор поднимает мусорный контейнер и включает реверсивный ход водомета. Так как расширительные усы вышли из зацепления с поперечной трубкой станции, то робот отплывает задним ходом.

Для того, чтобы мусоросборщик мог держаться на воде с определенной осадкой, было определено водоизмещение судна и объём плавательных поплавков через формулу архимедовой силы.

Два боковых корпуса состоят из пластика, дерева и пенопласта, потому что пенопласт обладает высокой плавучестью и, по сравнению с пустотелыми корпусами, он при протечке не может быть замещён водой. Дерево использовалось в качестве крепежных поверхностей. Пластик мы применили, чтобы усилить водонепроницаемые способности судна. Для жёсткости конструкции и улучшения внешнего вида, корпуса были покрыты эпоксидной смолой и углеродным волокном. Поверх каждого из корпусов на определённой высоте нанесены самоклеящиеся ленты, которые обозначают уровень ватерлинии робота. Каждый из корпусов обладает специальными нишами под электронику и аккумуляторы. Между нишами сделаны кабель-каналы для проводов. Детали из пластика, дерева и пенопласта вырезались на фрезерном станке и склеивались между собой (Рис.22).



Рисунок 22. Сборка боковых поплавков.

Чтобы робот устойчиво держался на воде, нами были вмонтированы в поплавки специальные трубы, куда помещается балласт для погружения судна до ватерлинии и корректировки центра тяжести (Рис.23). Заданная осадка корабля нужна нам для того, чтобы дрон мог собирать мусор определённых размеров как наступающий над поверхностью вод, так и немного притопленный. Также, чтобы водомёт при движении дрона вперед был максимально энергоэффективен, нужно было водоизмещение сделать таким, чтобы сопло находилось над водой.

Заглушки для труб представляют собой 4 пластиковые детали, которые сделаны обтекаемыми для улучшения гидродинамических свойств судна при движении.

Переднее ребро жёсткости между поплавками соединяет две передние заглушки для труб и представляет собой напечатанные на 3D принтере и склеенные пластиковые детали, внутри которых для жёсткости вмонтированы 2 шпильки.

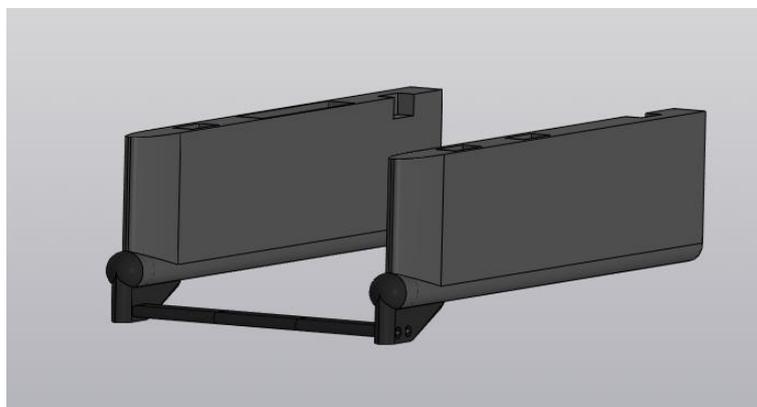


Рисунок 23. Модель боковых поплавков.

Принцип работы устройства.

1. После включения питания робота активируется маяк на 2 секунды, в качестве индикации питания, и после получения уверенного сигнала GPS, маяк начинает мигать и программа записывает стартовые координаты широты и долготы.
2. Далее оператор, при помощи ноутбука, вводит точки маршрута, которые передаются по радиоканалу и записываются в памяти робота.
3. Оператор переводит робота в автоматический режим при помощи ноутбука через радиомодуль.
4. Потом в автоматическом режиме робот вычисляет угол между исходной и последующими точками.
5. Магнитометр определяет положение судна относительно сторон света и сравнивает с полученным углом тем самым находит угол, на который должен повернуть наш корабль.
6. Следующим этапом активируется водомёт, и робот начинает движение по вычисленному углу. Этот пункт повторяется во время маршрута.
7. Если заряд аккумулятора достигает значения, при котором возможно только возвращения на базу, или мусорный контейнер заполнен до критического значения, то робот приподнимает над поверхностью воды средний корпус и начинает двигаться в сторону базы по пройденному пути. Также оператор может взять на себя управление при непредвиденной ситуации и скорректировать маршрут.

8. При приближении к нулевой точке оператор берет на себя управление и с помощью ноутбука корректирует положение робота относительно станции. После захода расширительных усов в створ станции оператор активирует опускание контейнера.
9. Оператор включает реверсивный ход, и робот начинает выгружать мусор. После завершения выгрузки оператор смотрит состояние аккумулятора и если заряд не высок, то аккумулятор заменяется на заряженный.
10. Далее повторяются предыдущие пункты до того момента, пока мусор не будет собран с заданных точек.

Испытание прототипа

Дрон, построенный нашей командой, прошел водные испытания (Рис. 24) и доказал свою эффективность по очистке водоемов от плавающего мусора среднего и мелкого размеров. На данный момент мы ведем сотрудничество в этой области с компанией АНО «Аиралаб Рус», которая уже долгое время занимается экологическими проектами.



Рисунок 24. Водные испытания платформы.

Перспективы развития проекта

Как показала практика использования прототипа, способ сбора и выгрузки мусора при помощи водомета дал отличные результаты, и поэтому принято решение запатентовать его как полезную модель. Так же возможно небольшое увеличение емкости для сбора мусора до 60 литров без увеличения массы аппарата. Это положительно скажется на работе при небольшом волнении. Емкость аккумуляторов желательно утроить для того, чтобы на смену хватило двух комплектов. В связи с тем, что современные аккумуляторные батареи имеют малый вес, то их утроение так же не повлияет на массу робота, так как будет

компенсирована уменьшением веса балласта. Для сбора мусора в заданном месте лучше использовать рой роботов под управлением искусственного интеллекта, потому что тогда повысится собираемость мусора при одновременном снижении затрат на работу оператора.

Для того, чтобы минимизировать риски столкновения мусоросборщиков между собой и исключить риски посадки роботов на мель, их нужно оснастить лидаром и эхолотом.

Также есть возможность внедрить техническое зрение на базе встроенной камеры и фонаря инфракрасной подсветки. Это улучшит собираемость мусора не только днем, но и в ночное время суток.

Экономическая составляющая проекта

Экологические проекты, в большинстве своем, в первую очередь создаются не для получения прибыли. Они инициируются государством для того, чтобы оно могло с помощью таких проектов обеспечить комфортную среду для жизни людей.

Но в тоже время государство не хочет переплачивать за проекты, вместо которых можно использовать более дешёвые способы выполнения тех или иных задач.

Отталкиваясь от предыдущей информации, становится понятно, что если мы создадим хороший проект, но дорогой, по сравнению с аналогами, то государство не согласится инвестировать в него деньги. Для того, чтобы определить это, сначала мы рассчитали стоимость нашего робота для различных партий выпуска (таблицы 1 и 2).

Таблица 1

Деталь дрона	Стоимость детали с учетом стоимости пресс форм, оснастки, транспортировки и прочих накладных расходов при партии 100 штук	Стоимость детали с учетом стоимости пресс форм, оснастки, транспортировки и прочих накладных расходов при партии 1000 штук
Внутренний контейнер	1 600,00	1 420,00
Внешний контейнер	1 100,00	920,00
Боковой поплавков корпус левый	600,00	420,00
Боковой поплавков крышка левый	8 200,00	1 000,00
Боковой поплавков корпус правый	600,00	420,00
Боковой поплавков крышка правый	8 200,00	1 000,00
Два крепежа поплавков	6 300,00	900,00
Корпус водомета	7 300,00	1 000,00
Корпус под аккумуляторы	7 300,00	1 000,00
Корпус под электронику	7 300,00	1 000,00

Корпус под датчики	7 300,00	1 000,00
Уши	750,00	705,00
Кронштейн большого актуатора	4 150,00	550,00
Водомер	8 550,00	1 350,00
Мелкие детали	7 200,00	900,00
Электроника и прочие покупные изделия с учетом дополнительных датчиков	47 000,00	47 000,00
Сборка и настройка	5 000,00	5 000,00
НИОКР	10 000,00	1 000,00
Итого за материалы со сборкой:	138 450,00	66 585,00
Итого с учетом развития производства:	166 140,00	79 902,00

Таблица 2

Деталь станции	Стоимость детали с учетом стоимости пресс форм, оснастки, транспортировки и прочих накладных расходов при партии 100 штук	Стоимость детали с учетом стоимости пресс форм, оснастки, транспортировки и прочих накладных расходов при партии 1000 штук
Элементы крепления	6300,00	900,00
Элементы сетки	2900,00	2 000,00
Трубы для станции	1 800,00	1 800,00
Покупные изделия, трубы, шпильки	2 000,00	2 000,00
Итого за материалы со сборкой:	13 000,00	6 700,00
Итого с учетом развития производства:	15 600,00	8 040,00

Потом мы сравнили два способа очистки водоёма: с помощью человека с сачком на лодке и с помощью 3 дронов “Black Trash Whale” выпущенных партией не менее 1000 штук. Такое количество в партии выбрано из того соображения, что только в России свыше 2,7 миллионов рек и озер и загрязненные места с несильным волнением (заводы, порты, причалы, озера) для них всегда найдутся. Данные сравнения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Качественные и ценовые характеристики	Лодка с человеком	3 мусоросборщика “Black Trash Whale” с запасными аккумуляторами, зарядным устройством и одной станцией сбора мусора
Цена оборудования (руб)	260 000,00	263 210,00
Стоимость топлива на один сезон сбора мусора (руб)	53 000,00	1 000,00
Вместимость бака для сбора мусора (л)	200	180
Коэффициент производительности	1	1,6

Как мы видим, стоимость лодки меньше на 3000 рублей, чем стоимость 3 роботов мусоросборщиков, но:

- Цена бензина в случае сбора с помощью лодки в 53 раза больше, чем стоимость электричества для зарядки аккумуляторов 3 роботов за 1 сезон (сезон, в среднем, длится 40 смен);
- Лодка работает на бензине, который наносит вред экологии;
- При меньшей вместимости баков для сбора мусора, мусоросборщики собирают в 1.6 раз больше мусора за одну смену, чем человек, потому, что они способны работать непрерывно и с постоянной интенсивностью на протяжении всей смены.

Основываясь на проделанных нами расчетах, можно сделать вывод, что сбор мусора с помощью 3 дронов “Black Trash Whale” более эффективен и будет предпочтительней, чем сбор мусора человеком на лодке.

Список литературы

1. Образовательный портал EcoBeing - [Электронный ресурс]. - Океанические мусорные острова — новое достояние цивилизации – Режим доступа: <http://ecobeing.ru/articles/ocean-garbagepatches>
2. Официальный сайт экологического проекта The Ocean Clean Up - [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch>
3. Новостной портал BBC NEWS - [Электронный ресурс]. - Семь графиков, объясняющих, почему пластик в океане это плохо - Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features42307854>

4. Технический портал Building Tech [Электронный ресурс]. Автономный дрон WasteShark успешно борется с пластиковым мусором в водоемах - Режим доступа: <https://buildingtech.org/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8/avtonomniy-dron-wasteshark-uspeshno-boretsya-s-plastykovim-musorom-vvodoemakh>
5. Барабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. - Л.: Судостроение, 1981. - 552 с.
6. Судовые движители: учебное пособие Дальневосточный государственный технический университет. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 126 с.
7. Васильев В.Ф. Водометные движители: Учебное пособие М., МАДИ (ГТУ). 2006, 45 с.
8. Папир А.Н. Водометные движители малых судов. Л.; Судостроение, 1970, 256 с.
9. Герасимов В. Г., Кузнецов Э. В., Николаева О. В. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. — М.: Энергоатомиздат, 1997. — 288 с.
10. Большаков В. КОМПАС-3D для студентов и школьников. Черчение, информатика, геометрия. СПб., 2018. - 304 с
11. Сайт компании Аскон. Обучающие материалы [Электронный ресурс]. – Учебные пособия по работе в программе Компас 3D- Режим доступа: <https://kompas.ru/publications/books/>
12. Сайт Alex Gyver technologies. Книги и Статьи. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://alexgyver.ru/lessons/books/>