

Муниципальное автономное учреждение дополнительного образования
«Центр дополнительного образования «Эрудит»
имени Луначарского Анатолия Васильевича муниципального образования
город-курорт Геленджик

номинация «Геоинформатика»

Исследование прибрежной зоны с помощью плавающего квадрокоптера «Вихрь»

Авторы:

Мартынов Алексей

Краснодарский край, г. Геленджик,
учащийся МАУ ДО «ЦДО «Эрудит»
им. А.В. Луначарского,
МБОУ СОШ №2 им. Адмирала
Ф.Ф. Ушакова, 11 класс

Скнарь Михаил

Краснодарский край, г. Геленджик,
учащийся МАУ ДО «ЦДО «Эрудит»
им. А.В. Луначарского,
МБОУ СОШ №3 им. Адмирала
Ф.Ф. Ушакова, 10 класс

Руководитель:

Извольский Валерий Рафаэлевич,
педагог дополнительного
образования МАУ ДО «ЦДО
«Эрудит» им. А.В. Луначарского

Краснодарский край, город Геленджик
2025 год

Оглавление

Введение	
Основная часть	4
1. Анализ существующих типов БПЛА	
2. Проектирование и создание 3d-модели прототипа БПЛА	5
3. Разработка математической модели	6
4. Симулятор для отображения полета БПЛА	7
Выводы	8
Литература	9
Приложение	10

Введение

Антропогенное воздействие на климатическую систему планеты является одной из наиболее острых глобальных проблем современности. Углекислый газ (CO_2) - ключевой парниковый газ, накопление которого в атмосфере напрямую связано с ростом средней глобальной температуры. Для разработки эффективных мер по смягчению последствий изменения климата и достижению углеродной нейтральности критически важны точные данные о потоках парниковых газов между различными экосистемами и атмосферой.

В ответ на этот вызов в мире и в Российской Федерации создается сеть карбоновых полигонов - уникальных природных лабораторий для мониторинга углеродного баланса. Эти территории оснащаются высокоточным оборудованием для непрерывных измерений, что позволяет перейти от глобальных моделей к пониманию локальных процессов депонирования и эмиссии углерода.

Особый интерес представляют полигоны типа «Лес, водоем, море», изучающие комплексные экосистемы, где процессы углеродного обмена между сушей, прибрежной зоной и акваторией особенно динамичны и сложны для оценки. Наличие в России всего пяти таких полигонов (приложение, рисунок 1): В России на данный момент имеется пять таких полигонов: «Геленджик» (Институт океанологии Российской академии наук); «Мухрино» (Югорский государственный университет); «Росьянка» (Балтийский федеральный университет им. И. Канта); «Карбон-Поволжье» (Казанский (Приволжский) федеральный университет); «Карбон-Сахалин» (Сахалинский государственный университет) [1].

На этих полигонах производится мониторинг состояния атмосферы и водной среды. Определяется химический состав воздуха и воды. При этом желательно получать данные одновременно из разных точек полигона. Это достаточно проблематично. Однако, эта задача может быть решена с использованием «роя» – автоматически взаимодействующих друг с другом небольших летательных аппаратов, представляющих собой беспилотную авиационную систему (БАС).

Карбоновый полигон «Геленджик» под руководством Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова представляет собой уникальную исследовательскую площадку федерального значения. Его исключительная научная ценность и дефицитность подобных объектов в России обуславливают настоятельную необходимость расширения его функционала и инфраструктуры. Полигон «Геленджик» расположен в зоне взаимодействия суши (предгорья Кавказа) и моря (Черное море), что позволяет одновременно изучать карбоновые балансы наземных (лесных), прибрежных и морских экосистем. Такой комплексный подход в России реализован лишь здесь. Главное отличие - акцент на изучение роли Черного моря в поглощении CO_2 . Морские травы, фитопланктон и водоросли являются мощными карбоновыми резервуарами («синий углерод»), чей потенциал в России только начинает изучаться.

Считается, что современные летательные аппараты, использующие углеводородное топливо, своими выбросами способствуют разрушению озонового слоя и созданию прослойки «парникового» газа. Альтернативой может быть применение БАС, использующих электрические источники энергии.

Проведение исследований в зоне влияния Карбонового полигона «Геленджик» является актуальным, так как оно соответствует глобальному и национальному научному приоритету в области климатологии и экологии и предоставляет возможность апробации методик и постановки задач, результаты которых могут внести вклад в работу федеральной сети карбоновых полигонов.

Определенной проблемой является получение данных о состоянии водной среды полигона, так как для получения данных, как правило, нужно брать пробы воды и доставлять их в лабораторию. Применение БАС с интегрированными датчиками дает уникальный доступ к изучению комплексной прибрежно-морской экосистемы Черноморского региона, процессы в которой слабо изучены в контексте углеродного баланса [2].

Актуальность проекта заключается в том, что использование БАС амфибийного типа дает возможность брать пробы и воды, и воздуха, т.е. углубленно и точно получать информацию о локальных экологических процессах.

Целью данного проекта является разработка недорогого, компактного беспилотного летательного аппарата (БПЛА), который может выполнять посадку и взлет не только с грунта, но и с поверхности воды.

Для достижения поставленной цели требуется решить ряд задач.

1. Провести анализ существующих БПЛА, и оценить их пригодность для решения задач мониторинга прибрежной зоны в составе БАС.
2. Разработать 3D-модель прототипа БПЛА.
3. Создать математическую модель для расчета таких параметров, как скорость, высота полета, угловое положение с целью отработки полета БПЛА «Вихрь» на разных режимах.
4. Решить проблему отображения воздушного пространства, в котором происходит полет.

Практическая ценность – снижение затрат на мониторинг прибрежной зоны. Положительный эффект также достигается за счет того, что использование БАС возможно в любую погоду и в труднодоступных местах (лес, горная местность).

1. Анализ существующих типов БПЛА

В настоящее время БПЛА условно делятся на два типа: самолетного типа и коптерного типа. БПЛА самолетного типа имеют крыло для создания подъемной силы и бывают с тянущим или толкающим винтами. Иногда применяют оба вида

винтов одновременно. Для взлета БПЛА самолетного типа требуется взлетно-посадочная полоса (ВПП), либо для запуска используется специальное устройство наподобие катапульты. БПЛА коптерного типа имеют несколько несущих винтов, создающих подъемную силу. Для взлета не требуется ни ВПП, ни катапульты.

Посадка на воду и взлет с воды для БПЛА самолетного типа является определенной проблемой, особенно при волнении. В тоже время, коптер может с высокой точностью (по данным GPS) вертикально приводниться и взлететь даже при достаточно сильном волнении. Также, в отличие от БПЛА самолетного типа, коптер может зависнуть в одной точке пространства и находиться там некоторое время производя измерения или сбор проб для мониторинга.

Таким образом, наиболее подходящим для создания БПЛА, который может приводниться и брать пробы воды, а также производить другие измерения, является БПЛА коптерного типа.

2. Проектирование и создание 3d-модели прототипа БПЛА

Форма корпуса коптера должна обеспечивать максимально возможную остойчивость на воде при волнении. В то же время, коптер должен иметь возможность выполнять посадку на твердую поверхность. Рассмотрев варианты использования различных навесных поплавков, которые крепятся к корпусу коптера, мы пришли к выводу, что нужно от них отказаться и сделать цельный корпус в виде единого поплавка с переборками для отсеков непотопляемости.

Самым известным поплавком является пустотелый тор (спасательный круг) он имеет большой запас плавучести и остойчивости. Кроме того, для него все направления равнозначны, так что «проблема посадки с боковым ветром» у него отсутствует. Тор, по сравнению с лучевой схемой коптера, обладает большим полезным объемом для размещения измерительного оборудования. Исходя из простоты конструкции была выбрана схема квадрокоптера – 4 винта. 2 винта диаметрально расположенных винта вращаются по часовой стрелке, а два других – против. Тем самым создается компенсация крутящих моментов относительно вертикальной оси коптера.

Проектирование прототипа квадрокоптера «Вихрь» выполнялось в программе «КОМПАС-3D». При проектировании учитывалась мощность моторов и тяговооруженность винтомоторной группы. Исходя из этого определялась масса конструкции. Водоизмещение выбиралось исходя из минимизации массы конструкции, с одной стороны, и размеров конструкции, а

также ее прочности с другой стороны. 3d-модель квадрокоптера (без несущих винтов) представлена на рисунке 1.

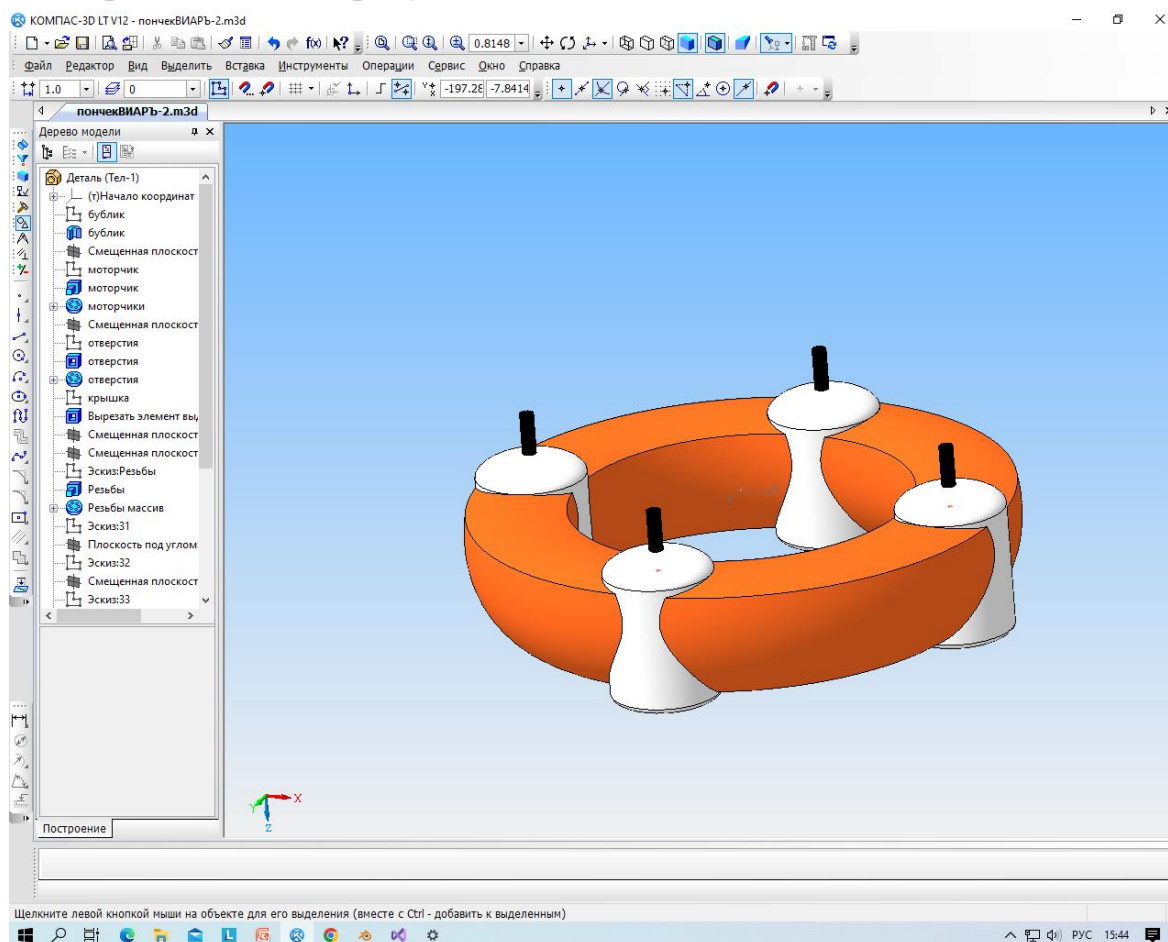


Рисунок 1 – 3D-модель плавающего квадрокоптера «Вихрь»
(без несущих винтов)

3. Разработка математической модели

По данным, полученным при проектировании можно построить математическую модель квадрокоптера. Зная геометрические размеры и распределение массы определяем моменты инерции. Используя параметры винтов и мощность двигателей определяем тяговооруженность и соответственно силы и моменты, которые создаются винтами, в связанной системе координат квадрокоптера. Динамика полета, угловое положение, высота и скорость движения в воздухе рассчитываются путем численного решения нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих движение летательного аппарата.

Из допущения, что в локальной точке земля плоская для определения ориентации достаточно знать углы тангажа ϑ , крена γ и рысканья ψ . Эти углы связаны с угловыми скоростями следующими соотношениями [3]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\gamma} &= \omega_x - \tan \vartheta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), \\ \dot{\psi} &= \frac{1}{\cos \vartheta} (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), \\ \dot{\vartheta} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma, \end{aligned} \right\}$$

Изменение угловых скоростей определяется системой динамических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\omega}_x &= \frac{1}{I_x} M_x - \frac{I_z - I_y}{I_x} \omega_y \omega_z, \\ \dot{\omega}_y &= \frac{1}{I_y} M_y - \frac{I_x - I_z}{I_y} \omega_z \omega_x, \\ \dot{\omega}_z &= \frac{1}{I_z} M_z - \frac{I_y - I_x}{I_z} \omega_x \omega_y. \end{aligned} \right\}$$

Определенную проблему представляет собой моделирование движения на границе двух сред: воды и воздуха. В данной работе этот вопрос не затрагивается. Он будет рассматриваться в дальнейшем.

5. Симулятор для отображения полета БПЛА

Используя кроссплатформенную среду UNITY был создан симулятор полета квадрокоптера. Изначально был создан «летающий куб», движение которого в виртуальном пространстве выполнялось в соответствии с математической моделью, описывающей движение квадрокоптера по командам, поступающим с пульта управления от оператора. Далее «куб» был заменён на 3d-модель квадрокоптера с вращающимися элементами в виде винтов. Затем был разработан и реализован виртуальный ландшафт прибрежной зоны в виде острова.

По математической модели рассчитываются обороты винтов, скорости перемещения, угловые скорости и другие параметры. С помощью симулятора проверена возможность управляемого полета плавающего квадрокоптера (рисунок 2). Видео испытательного полета можно посмотреть по ссылке:

<https://drive.google.com/file/d/1ABSSgbOH1B24a2ATbHb-BhcFcq0Q66Pf/view?usp=sharing>



Рисунок 2 – Исследование плавающего квадрокоптера «Вихрь»
в симуляторе полета

Выводы

В результате успешного выполнения проекта все поставленные цели достигнуты в полном объеме. Это создает прочную научно-техническую основу для перехода к ключевой прикладной задаче.

Основные результаты:

1. Создан функциональный прототип плавающего квадрокоптера «Вихрь» и его детализированная математическая модель. Это подтверждает принципиальную осуществимость концепции БПЛА, способного как к полету, так и к передвижению по воде, что критически важно для работы в сложных прибрежных условиях (рисунок 3).
2. На базе платформы UNITY разработан комплексный симулятор полета. Он позволил провести первичные испытания динамики аппарата, отработать алгоритмы взлета/посадки на воду и оценить энергоэффективность в безопасных и воспроизводимых условиях, существенно снизив риски и стоимость следующих этапов.

Достигнутые результаты являются не финальным этапом, а стартовой платформой для решения конкретной национальной научно-экологической задачи. Следующим закономерным и целевым шагом станет разработка автоматической системы устойчивости и управляемости (СУУ) для комплекса «Вихрь». Актуальность этой работы многократно возрастает в контексте

потребностей системы карбоновых полигонов России, в частности, уникального морского полигона «Геленджик».



Рисунок 3 – Плавающий квадрокоптер «Вихрь» - действующая модель

Список литературы

1. Карбоновые Полигоны Российской Федерации (электронный ресурс) – <https://carbon-polygons.ru/> (дата обращения 19.04.2023)
2. Екатерина Ковалевская. На полигоне в Геленджике отработают технологии секвестрации углерода Российская газета 15.02.2022 18:15 (электронный ресурс) <https://rg.ru/2022/02/15/reg-ufo/na-poligone-v-gelendzhike-otrabotaiut-tehnologii-sekvestracii-ugleroda.html> (дата обращения 19.04.2023)
3. Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров. Управление угловым положением летательного аппарата. // Автометрия. 2015. Т.51. № 5. С. 35-41.



Рисунок 1. Схема расположения карбоновых полигонов в России



Рисунок 2. Причал карбонового полигона в Геленджике