

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИКОПТЕРОВ И ВЫБОР КОПТЕРА ДЛЯ АНАЛИЗА РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА МАЛОЙ ВЫСОТЕ

Д.Н. Малюков

dmitr2102@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

На основе доступных открытых источников выполнен обзор разнообразных конструкций мультикоптеров. Подробно рассмотрены различные решения, как достаточно популярные, так и редко используемые модели. Каждый тип конструкции дополнительно снабжен кратким описанием, в котором акцентировано внимание на его уникальных технических характеристиках и функциональных возможностях. Этот подход позволил выявить ключевые параметры, которые определяют эффективность и применимость мультикоптеров в различных условиях эксплуатации. На основе собранной информации были установлены конкретные модели мультикоптеров, которые наиболее точно соответствуют требованиям и специфике задачи анализа растительности на малой высоте.

EDN: ZBFMPM

Ключевые слова: мультикоптер, бикоптер, трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер, октокоптер, V-Tail, A-Tail, Y4, Y6, X8, агропромышленный комплекс

Введение. Мультикоптер (англ. *multirotor*, *multicopter* — многороторный вертолет, многолет) — это летательный аппарат с произвольным числом несущих винтов, вращающихся диагонально в противоположных направлениях [1]. На сегодняшний день мультикоптеры находят все более широкое применение в различных сферах: от доставки продуктов и проведения видеосъемки до участия в спасательных операциях и боевых действиях. Задачи для коптеров можно найти и в агропромышленном комплексе. В рамках данной работы принято решение провести анализ различных коптеров, а также определить их преимущества и недостатки. Планируется рассмотреть особенности различных конструкций и их характеристики. По итогам работы будет выбрана конфигурация коптера, наиболее подходящая для задачи анализа растительности.

Постановка задачи. Для коптеров можно выявить несколько основных характеристик.

1. *Продолжительное время работы.* Поскольку планируется не только облет территории и преодоление препятствий, но и анализ территорий, которые могут быть достаточно обширными, коптеру может потребоваться достаточно продолжительное время для сбора информации. На данном этапе желаемая продолжительность полета без нагрузки составляет 40–60 мин.

2. *Компактность.* Коптеру предстоит преодолевать множество препятствий. Уменьшение его размеров позволит упростить эту задачу. Будем считать, что габариты копитера не должны превышать $200 \times 200 \times 100$ мм.

3. *Грузоподъемность.* Коптер будет оснащен множеством различных устройств для получения информации об окружающей среде (также, предположительно, он должен иметь возможность взаимодействовать с некоторыми объектами). Предварительно будем считать, что грузоподъемность копитера должна составлять около 1...2 кг.

4. *Высокая скорость.* При выполнении ряда задач скорость является не последней по важности характеристикой. Поэтому копитер должен развивать достаточно высокую скорость для быстрого сбора данных об окружении. За минимальную скорость полета примем значение 60 км/ч.

5. *Высокая маневренность.* Поскольку робот предназначен для преодоления препятствий, никак нельзя обойтись без маневренности. Робот должен быть достаточно устойчивым и быстро изменять направление полета для уклонений от препятствий.

Конструкции мультикопитеров. Все вышеперечисленные характеристики позволят обеспечить правильный подбор конструкции и электронного наполнения копитера. Но все же определяющей является именно конструкция, ведь исходя из нее выбирают электронные составляющие. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать различные конфигурации конструкций копитеров (рис. 1).

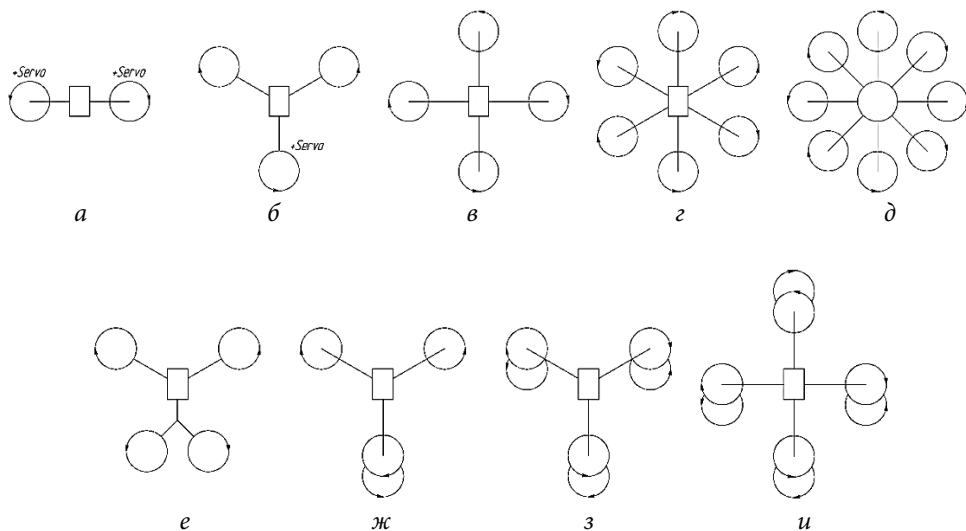


Рис. 1. Основные конфигурации копитеров:

а — бикоптер; *б* — трикопитер; *в* — квадрокопитер; *г* — гексакопитер; *д* — октакопитер;
е — V-Tail/A-Tail; *ж* — Y4; *з* — Y6; *и* — X8

На сегодняшний день существует множество различных конструкций коптеров. Они определяются компоновкой рамы (лучей) и числом двигателей/пропеллеров [2]. На сегодняшний день можно выделить следующие основные типы конструкций: бикоптер, трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер, октокоптер, V-Tail, A-Tail, Y4, Y6, X8 (см. рис. 1).

Бикоптер. Имеет два двигателя, которые с помощью наклонных механизмов могут изменять вектор тяги. Преимуществами таких коптеров являются малая масса и малое количество вращаемых частей, что обеспечивает достаточно длительное время полета [3]. Из недостатков можно отметить низкую стабильность, плохую маневренность и самую низкую грузоподъемность среди коптеров остальных типов.

Бикоптеры подходят для выполнения поставленной задачи, однако хорошие модели с приемлемой управляемостью стоят достаточно дорого. Среди недостатков бикоптера стоит отметить низкую грузоподъемность и в целом малую массу аппарата. Взаимодействовать с объектами в области полета данный аппарат, скорее всего, не сможет.

В качестве примера рассмотрен бикоптер V-Coptr Falcon компании Zero Robotics (рис. 2).



Рис. 2. Бикоптер V-Coptr Falcon

Трикоптер. В трикоптере используются три мотора, расположенные по схеме Y (возможно расположение по схеме T, но такая конструкция менее стабильна). На заднем луче помимо мотора размещен сервопривод, который вращает одну из лопастей для компенсации крена. На сегодняшний день большинство конструкций классического трикоптера устарели, их характеристики во многом уступают современным [4]. Однако существуют и интересные решения, достойные рассмотрения.

Трикоптер во многом подходит для рассматриваемой задачи. В сети можно найти множество примеров использования этого коптера для выполнения сложных задач [5]. Хотя трикоптер и не обладает высокой стабильно-

стью, его можно применять в безветренную погоду или в закрытых помещениях. Из недостатков также можно отметить низкую грузоподъемность.

Примером одного из передовых трикоптеров служит трикоптер YI ERIDA компании Atlas Dynamics (рис. 3).



Рис. 3. Трикоптер YI ERIDA [6]

Квадрокоптер. Наиболее популярная конструкция коптеров. Имеет четыре двигателя на каждом из лучей, расположенных симметрично, благодаря чему имеет хорошую стабильность. Обычно можно встретить квадрокоптер в двух конфигурациях: X и $+$. Реже встречается конструкция типа H. Квадрокоптеры наиболее просты в обслуживании по причине своей популярности [7].

Квадрокоптер представляет собой самую сбалансированную версию коптера. Его можно использовать для решения множества задач, и задача, поставленная нами, не является исключением. На наш взгляд, квадрокоптер служит одним из лучших решений для любых задач, не требующих переноса тяжелых грузов.

В качестве примера был рассмотрен один из наиболее популярных на сегодняшний день квадрокоптеров Mavic 3 от компании DJI (рис. 4).



Рис. 4. Квадрокоптер DJI Mavic 3, построенный по схеме X [8]

Гексакоптер. Имеет шесть моторов, расположенных на шести лучах, угол между которыми составляет 60° . Три мотора вращаются в одну сторону, три в другую. Благодаря такому большому числу моторов он может развивать большую подъемную силу, гарантирует большую стабильность и безопасность. Но из-за этого также страдает длительность полета [9].

Квадрокоптеры данного типа не очень подходят для рассматриваемой задачи. Да, коптер имеет высокую стабильность и грузоподъемность, но почти все гексакоптеры обладают большими размерами и не очень длительным временем работы. На сегодняшний день коптеры данного типа лучше всего показывают себя при переносе грузов и решении похожих задач.

В качестве примера был рассмотрен гексакоптер Turphoon H520 компании Yuneec (рис. 5).



Рис. 5. Гексакоптер Turphoon H520 [10]

Октокоптер. По конструкции октокоптер очень похож на гексакоптер. Имеет восемь лучей, на каждом из которых установлен мотор. Он обладает большой грузоподъемностью, а также более надежен благодаря наличию двух дополнительных моторов [11]. Самый значимый его недостаток — увеличенное потребление энергии, что способствует сокращению времени его полета и удорожанию конструкции.

Как и гексакоптер, октокоптер не подходит для выполнения решаемой нами задачи. Он также имеет высокую грузоподъемность, стабильность, но обладает большими габаритами и малым временем работы.

Примером такого коптера служит октокоптер компании DJI — Agres MG-1S (рис. 6).



Рис. 6. Октокоптер Ages MG-1S [12]

V-Tail (A-Tail). Является нестандартной моделью квадрокоптера. Передние моторы расположены в точности как у квадрокоптера, но задние находятся под углом в форме V (или A). Данный тип можно назвать смесью квадрокоптера и трикоптера. Не очень популярная конфигурация из-за малой энергоэффективности и короткого времени полета. Из достоинств конструкции можно отметить лишь простоту определения положения в пространстве.

Исходя из особенностей коптера, его использование для любых практических задач не целесообразно. Как было сказано выше, он обладает малой энергоэффективностью и малым временем работы. Возможно, в будущем появятся интересные варианты коптеров данного типа, пригодные для высотного анализа, но на сегодняшний день он может быть лишь простой игрушкой.

Примером служит модель от компании Charles Designs — Spirit (рис. 7).



Рис. 7. Квадрокоптер V-Tail Spirit [13]

Коптеры с соосными моторами. Далее описаны коптеры, построенные по схемам Y4, Y6, X8, основным преимуществом которых служит соосное расположение моторов. Поэтому перед их рассмотрением разберемся, в чем заключаются преимущества и недостатки таких конфигураций [14].

К преимуществам коптеров с соосными моторами относятся простота управления и компактность. Однако они недостаточно эффективны по сравнению с коптерами других типов (нижний мотор тянет разогнанный воздух, из-за чего теряется 10...20 % эффективности). Вероятность их повреждения также увеличивается, поскольку в конструкции больше винтов.

Коптер по схеме Y4. Схож с трикоптером, но все же является более стабильным и надежным. На Y4 отсутствует задний сервопривод, вместо него используется дополнительный винт в хвостовой части [15]. Две лопасти CW и CCW расположены параллельно, что и позволяет такому коптеру иметь превосходство над трикоптером. По характеристикам они очень схожи с классическим трикоптером.

Коптеры, построенные по схеме Y4, лучше подходят для рассматриваемого типа задач, чем обычные трикоптеры. Соосность моторов дает большую стабильность и управляемость, что лучше подходит для уклонения от препятствий. Потери в 10...20 % эффективности можно считать крайне незначительными.

Одна из самодельных моделей коптера, построенного по схеме Y4, представлена на рис. 7.



Рис. 7. Коптер по схеме Y4

Коптер по схеме Y6. Также схож с трикоптером. Коптер Y6 имеет шесть моторов, расположенных попарно на трех лучах так, чтобы на каждом луче была как CW-, так и CCW-лопасть. Коптер этого типа может иметь малые размеры, но при этом обладать аналогичной грузоподъемностью как у гексакоптера, однако конфигурация Y6 менее эффективна из-за коаксиального расположения моторов.

Можно считать коптеры данного типа одними из наиболее подходящих для исследуемых задач при различных условиях. Является очень стабильным, относительно энергоэффективным и малогабаритным. Также имеет достой-

ную грузоподъемность. Из недостатков можно отметить не очень большое время работы, что в целом компенсируется всем остальным.

Примером одного из таких коптеров служит 3DR Y6 MultiCopter (рис. 8).



Рис. 8. Коптер по схеме Y6 3DR [16]

Коптер по схеме X8. Является одной из разновидностей октокоптеров. Имеет четыре луча, расположенных в форме X, на каждом из которых закреплено по два мотора. Всего восемь моторов расположены на четырех лучах парами (CW и CCW). В целом по характеристикам коптер схож с Y6, но из-за дополнительных моторов имеет лучшую управляемость и чуть большую грузоподъемность.

Не самая лучшая модель для использования для рассматриваемой задачи. Такой коптер схож с Y6, но имеет меньшее время работы и большие габариты. Но если задача требует подъема груза, то он определенно выигрывает. Также к его достоинствам можно отнести простую ориентируемость и управляемость.

В качестве примера был рассмотрен коптер модели Industrial drone X8 компании SKYPRO UAV [17] (рис. 9).



Рис. 9. Коптер по схеме X8

Анализ результатов. В ходе анализа коптеров было выявлено несколько наиболее подходящих коптеров для задач анализа растительности на малой высоте: трикоптер, квадрокоптер, Y4, Y6. Еще раз перечислим их ключевые особенности.

Трикоптер — наиболее дешевый, с достаточно продолжительным временем полета, но малой грузоподъемностью.

Квадрокоптер — наиболее оптимальная модель. Легок в ремонте и управлении. Из недостатков можно отметить лишь малую грузоподъемность.

Коптер Y4 — чуть более сложен в управлении, чем классический трикоптер, но обладает большей стабильностью. В остальном характеристики аналогичны.

Коптер Y6 — наиболее универсальная модель. Благодаря соосным винтам обладает хорошей грузоподъемностью и компактностью, но имеет меньшее время работы.

План дальнейшая работы. По итогам исследования было принято решение об использовании коптера по схеме Y6. Он обладает достаточным временем полета (в среднем 40 мин), высокой скоростью (до 100 км/ч), хорошей устойчивостью и маневренностью (благодаря соосности моторов), при этом не обладает излишне большими размерами. Следующими шагами будут проектирование и разработка системы управления данным коптером. В ходе подбора компонентов планируется использовать отечественную элементную базу.

Заключение. Разнообразие конструкций коптеров дает уникальные возможности и позволяет реализовать подходы, наиболее подходящие для выполнения различных задач. Двухкоптеры и трикоптеры представляют собой дешевые решения для полетов на малой высоте, гексакоптеры и октокоптеры позволяют переносить тяжелые грузы. Квадрокоптер соединяет преимущества обеих групп, являясь относительно дешевым решением и позволяя поднимать грузы средней тяжести. Использование соосных моторов, как в схемах Y4, Y6, X8, открывает возможности для сохранения подъемной силы гесакоптеров и октокоптеров, при этом позволяя увеличить стабильность и улучшить управляемость коптеров, а также уменьшить их размеры.

В результате исследования были выделены ключевые моменты, определяющие эффективность проведения работ при выполнении анализа растительности на малой высоте: время полета, высокая скорость, маневренность и малые габариты. В ходе работы было выявлено четыре конфигурации, наиболее подходящие для указанного вида использования: трикоптер, квадрокоптер, Y4, Y6. Для дальнейшей работы был выбран коптер, построенный по схеме Y6, а также определен следующий этап работы.

Литература

- [1] Коггин А.В., Шайдунов Г.Я. Перспективы развития малых беспилотных летательных аппаратов и проблема их обнаружения. *Военная мысль*, 2023, № 1, с. 61–65.
- [2] *В чем разница: трикоптер, квадрокоптер, октокоптер, гексакоптер?* URL: https://dronomania.ru/faq/v-chem-raznica-trikopter-kvadrokopter-oktokopter-geksakopter.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения 15.12.2023).
- [3] *V-образный бикоптер. V-COPTER FALCON*. URL: <https://chipgifts.ru/v-copter-falcon> (дата обращения 15.12.2023).
- [4] *Tricopter vs quadcopter: efficiency, flight time, and more*. URL: <https://unmannedengineeriablog.wordpress.com/2016/01/05/tricopter-vs-quadcopter-efficiency-flight-time-and-more/> (accessed December 15, 2023).
- [5] *STрикоптер AR 150*. URL: <https://russiadrone.ru/publications/1-5-trikopter-ar-150/> (дата обращения 15.12.2023).
- [6] *YI ERIDA: первый складной трикоптер*. URL: https://dronomania.ru/atlas-dynamics/yi-erida.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения 15.12.2023).
- [7] *Что такое квадрокоптер?* URL: <https://dronomania.ru/faq/chto-takoe-kvadrokopter.html> (дата обращения 15.12.2023).
- [8] *DJI Mavic 3*. URL: <https://www.dji.com/ru/mavic-3/specs> (accessed December 15, 2023).
- [9] *Гексакоптеры*. URL: <https://uav-bpla.com/geksakoptery/> (дата обращения 15.12.2023).
- [10] *Yuneec Typhoon*. URL: <https://dronomania.ru/yuneec/typhoon-h520.html> (accessed December 15, 2023).
- [11] *Октокоптеры*. URL: <https://uav-bpla.com/kvadrokoptyery/oktokoptery/> (дата обращения 15.12.2023).
- [12] *DJI Agras MG-1s*. URL: <https://www.energосkan.ru/catalog/tovar/dji-agras-mg-1s/> (accessed December 15, 2023).
- [13] *A drone that looks and flies like an airplane*. URL: <https://vtailquad.jimdofree.com/> (accessed December 15, 2023).
- [14] *Types of multicopter*. URL: <https://oscarliang.com/types-of-multicopter/> (accessed December 15, 2023).
- [15] *Flynoceros Y-Knot Y4*. URL: <https://rotorbuilds.com/build/22118> (accessed December 15, 2023).
- [16] *3DR drone Y6 arf multicopter kit*. URL: https://www.gabahobby.com/index.php?route=product/product&product_id=292399 (accessed December 15, 2023).

- [17] *Industrial drone X8*. URL: <https://www.aeroexpo.online/prod/skypro-uav/product-174790-9644.html> (accessed December 15, 2023).

Поступила в редакцию 25.12.2023

Малюков Дмитрий Николаевич — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Рубцов Василий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация. E-mail: rubtsov@mail.ru. SPIN-код: 9410-2773.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Малюков Д.Н. Обзор современных мультикоптеров и выбор коптера для анализа растительности на малой высоте. *Политехнический молодежный журнал*, 2024, № 01 (90). URL: <http://ptsj.ru/catalog/menms/robots/961.html>

MODERN MULTICOPTERS REVIEW AND SELECTION OF A COPTER TO ANALYZE VEGETATION AT THE LOW ALTITUDES

D.N. Malyukov

dmitr2102@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The paper presents a review of various multicopter designs based on the available open sources. It considers in detail various solutions, both fairly popular and the rarely used models. Each design type is additionally provided with a brief description, which focuses on its unique technical characteristics and functionality. This approach makes it possible to identify key parameters that determine the multicopter effectiveness and applicability in the various operation conditions. Based on the collected information, the paper identifies specific models of the multicopters most accurately meeting the requirements and specifics of the task to analyze vegetation at the low altitude.

EDN: ZBFMPM

Keywords: multicopter, bicopter, tricopter, quadcopter, hexacopter, octocopter, V-Tail, A-Tail, Y4, Y6, X8, agro-industrial complex

References

- [1] Kogtin A.V., Shaydurov G.Ya. Development prospects of smaller unmanned aerial vehicles and the problem of their detection. *Voennaya mysl'*, 2023, no. 1, pp. 61–65. (In Russ.).
- [2] *V chem raznitsa: trikopter, kvadrokopter, oktokopter, geksakopter?* [What is the difference: tricopter, quadcopter, octocopter, hexacopter?]. URL: https://dronomania.ru/faq/v-chem-raznica-trikopter-kvadrokopter-oktokopter-geksakopter.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (accessed December 15, 2023).
- [3] *V-obraznyy bikopter. V-COPTR FALCON* [V-shaped bicopter. V-COPTR FALCON]. URL: <https://chipgifts.ru/v-coptr-falcon> (accessed December 15, 2023).
- [4] *Tricopter vs quadcopter: efficiency, flight time, and more*. URL: <https://unmannedengineeriablog.wordpress.com/2016/01/05/tricopter-vs-quadcopter-efficiency-flight-time-and-more/> (accessed December 15, 2023).
- [5] *STrikopter AR 150* [STricopter AR 150]. URL: <https://russiandrone.ru/publications/1-5-trikopter-ar-150/> (accessed December 15, 2023).
- [6] *YI ERIDA: pervyy skladnoy trikopter* [YI ERIDA: the first foldable tricopter]. URL: https://dronomania.ru/atlas-dynamics/yi-erida.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (accessed December 15, 2023).

- [7] *Chto takoe kvadrokopter?* [What is a quadcopter?]. URL: <https://dronomania.ru/faq/chto-takoe-kvadrokopter.html> (accessed December 15, 2023).
- [8] *DJI Mavic 3*. URL: <https://www.dji.com/ru/mavic-3/specs> (accessed December 15, 2023).
- [9] *Geksakoptery* [Hexacopters]. URL: <https://uav-bpla.com/geksakoptery/> (accessed December 15, 2023).
- [10] *Yuneec Typhoon*. URL: <https://dronomania.ru/yuneec/typhoon-h520.html> (accessed December 15, 2023).
- [11] *Otkooptery* [Octocopter]. URL: <https://uav-bpla.com/kvadrokoptery/otkooptery/> (accessed December 15, 2023).
- [12] *DJI Agras MG-1s*. URL: <https://www.energосkan.ru/catalog/tovar/dji-agras-mg-1s/> (accessed December 15, 2023).
- [13] *A drone that looks and flies like an airplane*. URL: <https://vtailquad.jimdofree.com/> (accessed December 15, 2023).
- [14] *Types of multicopter*. URL: <https://oscarliang.com/types-of-multicopter/> (accessed December 15, 2023).
- [15] [15] *Flynoceros Y-Knot Y4*. URL: <https://rotorbuilds.com/build/22118> (accessed December 15, 2023).
- [16] *3DR drone Y6 arf multicopter kit*. Available at: https://www.gabahobby.com/index.php?route=product/product&product_id=292399 (accessed December 15, 2023).
- [17] *Industrial drone X8*. URL: <https://www.aeroexpo.online/prod/skypro-uav/product-174790-9644.html> (accessed December 15, 2023).

Received 25.12.2023

Malyukov D.N. — Student, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Rubtsov V.I., Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation. E-mail: rubtsov@mail.ru. SPIN-code: 9410-2773.

Please cite this article in English as:

Malyukov D.N. Modern multicopters review and selection of a copter to analyze vegetation at the low altitudes. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal*, 2024, no. 01 (90). (In Russ.). URL: <http://ptsj.ru/catalog/menms/robots/961.html>