

лансировки подобных лопастей, уменьшая надежность изделия. С учетом всех вышеперечисленных аспектов можно говорить об наибольшей эффективности двухлопастного винта.

#### **Список цитированных источников**

1. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских; М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 168 с.
2. Астахова, В. А. Дроны и их пилотирование. С чего начать / Н. Л. Астахова, В. А. Лукашов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 224 с.
3. Гололобов, В. Н. Беспилотники для любознательных / В. Н. Гололобов, В. И. Ульянов. – СПб.: Наука и Техника, 2018. – 256 с.
4. Бейктал, Д.. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих / Дж. Бейктал ; пер. с англ. Ф. Г. Хохлова.– 2-е изд., электрон. – М. : Лаборатория знаний, 2022.—226 с.

УДК 533.65.013.622

*Хеук М. В., Гурский О. С.*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Онысько С. Р.*

## **СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Развитие технологий в сфере летательных аппаратов набирает обороты с каждым годом. Одним из ярких примеров является разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Активное развитие БПЛА вызвано рядом преимуществ, по сравнению с привычной авиацией: отсутствие экипажа на борту устраняет риск людских потерь; возможность выполнения маневров с перегрузкой, превышающей физические возможности летчиков; большая продолжительность и дальность полета при отсутствии фактора усталости экипажа; относительно небольшая стоимость, малые затраты на их эксплуатацию.

В гражданской сфере наибольшее распространение получили небольшие по габаритам аппараты – квадрокоптеры, с четырьмя и более винтами, вращающимися в противоположном направлении. Квадрокоптер представляет собой уменьшенную модель аналога вертолета, обладающий большой маневренностью и обычно управляемый дистанционно. Как правило, на нём устанавливается мини-камера, позволяющая вести в полёте фото- и видеосъёмку [1].

Квадрокоптеры с каждым днем набирают популярность во многих точках земного шара. Они используются в вооруженных силах, различных государственных и коммерческих организациях, спецслужбах. Часто с помощью БПЛА снимают различные мероприятия, также они имеют возможность транслировать и производить запись видео, а также создают эффект присутствия при полете. БПЛА могут проникнуть практически в любые, даже самые труднодоступные места, осуществить доставку предметов аналогично привычной почте.

Данные устройства доступны и достаточно популярны, однако при их выборе можно столкнуться с некоторыми сложностями. Готовые модели сильно разнятся в своих возможностях и ценах, и при этом практически все устройства

импортного производства. Кроме этого, нет возможности улучшения характеристик или использования другого навесного или встроенного оборудования, так как нарушается целостность корпуса и значительно ухудшаются его летные характеристики [2].

Цель работы – разработать модель квадрокоптера с возможностью быстрой его перекомплектацией в зависимости от условий работы.

Для создания модели устройства использовалась система автоматического проектирования «КОМПАС-3D», при помощи которой были созданы все конструктивные элементы квадрокоптера, а также подготовлена конструкторская документация для создания и сборки готового изделия (рисунок 1).

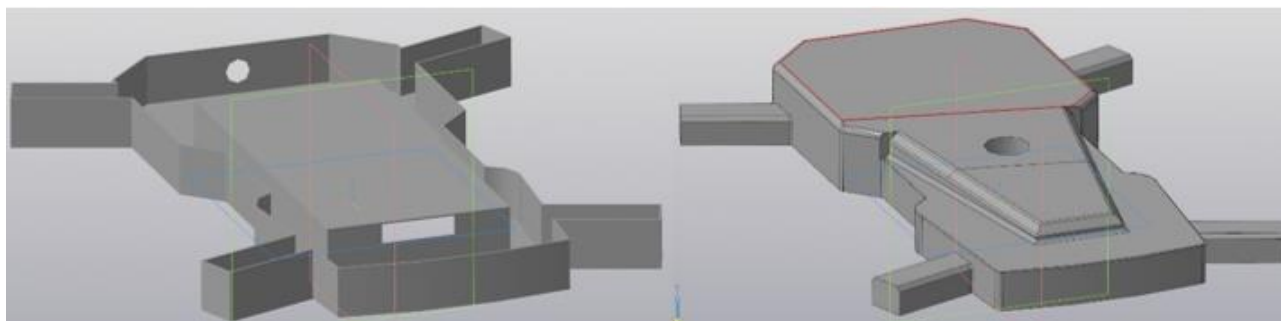


Рисунок 1 – Проектирование и создание моделей в «КОМПАС-3D»

Для создания готового изделия была выбрана «аддитивная» технология производства, подразумевающая создание объектов за счет нанесения последовательных слоев материала (3D-печать). Данная технология является полной противоположностью традиционных методов механического производства и обработки, таких как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала.

Для создания деталей использовался 3D-принтер модели *Flyingbear Ghost 5*, технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики 3D-принтера

Параметр	Значение
Размер печати	255×210×200
Толщина слоя	0,05-0,4
Тип материала	PLA, ABS, TPU, NIPS, PET, PETG.
Точность позиционирования	Z = 0,002, X(Y) = 0,01
Диаметр сопла	0,4
Количество экструдеров	1
Формат входного файла	STL , OBJ , DAE , AMF
Совместимость	Windows, Mac, Linux.
Программное обеспечение для управления	Репетитор-хост, Cura S3D, Marlin

В качестве материала печати был выбран пластик *PETG* (называемый также сополиэфиром *PET*), являющийся пластичной смолой. *PETG* обладает рядом преимуществ: при нагреве не становится мутным и хрупким; добавочный гликоль препятствует кристаллизации и ломкости; ударопрочный; имеет низкую термоусадку при застывании; сочетает преимущества различных типов пластика таких как – *ABS* (прочность, термостойкость, долговечность) и *PLA* (легкость использования); относительная дешевизна. Пластик чист и аморфен, температура стеклования порядка 88 °С.

Внешний вид созданного квадрокоптера представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Действующая модель квадрокоптера и его полет

Основным критерием оценки работоспособности аппарата является возможность безопасного его нахождения в воздушном пространстве.

Для проверки работоспособности конструкции и возможности удержания квадрокоптера в воздухе были выполнены теоретические и практические расчеты подъемной силы [4].

Тяга, развиваемая одним винтом квадрокоптера, рассчитывается по формуле

$$P = \alpha \rho D^4 n_s^2, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент тяги винта;  
 $\rho$  – плотность воздуха;  
 $D$  – диаметр винта;  
 $n_s$  – число оборотов двигателя.

Коэффициент тяги винта определяется из соотношения

$$\alpha = \frac{\eta \beta}{\lambda}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия винта;  
 $\beta$  – коэффициент мощности винта;  
 $\lambda$  – безразмерный коэффициент винта.

Коэффициент мощности винта:

$$\beta = \frac{75N}{\rho D^5 n_s^3}, \quad (3)$$

где  $N$  – мощность двигателя.

Безразмерный коэффициент винта, характеризующий его работу, определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{V}{Dn_s}, \quad (4)$$

где  $V$  – скорость полета модели.

Для расчета были приняты данные, характеризующие имеющееся оборудование и прогнозируемые показатели квадрокоптера:

- число оборотов электродвигателя  $n_s = 6000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 100 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ ;
- диаметр винта  $D = 0,122 \text{ м}$ ;
- мощность электродвигателя  $N = 14,3 \text{ Вт} = 0,019 \text{ л.с.}$ ;
- скорость полета модели  $V = 11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;
- плотность воздуха при нормальных условиях ( $t = 20^\circ \text{C}$ )  $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$\beta = \frac{0,019 \times 75}{1,2 \times 0,122^5 \times 100^3} = 0,04.$$

$$\lambda = \frac{11}{0,122 \cdot 100} = 0,9.$$

Коэффициент полезного действия винта определяется по диаграмме-характеристике серии воздушных винтов (рисунок 3) [5] и составляет  $\eta = 0,81$ .

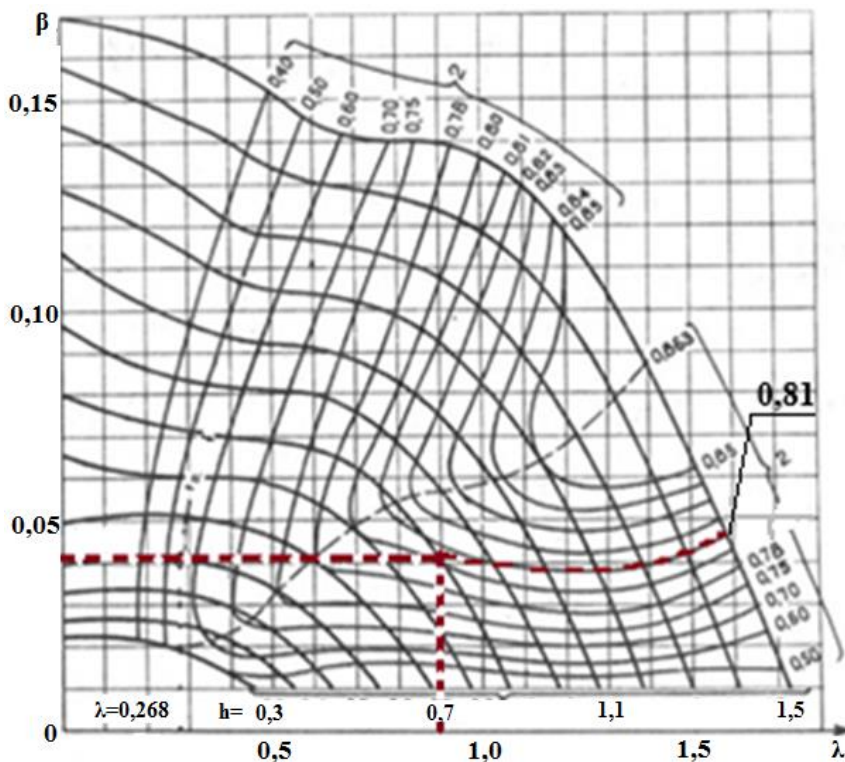


Рисунок 3 – Диаграмма-характеристика серии воздушных винтов

$$\alpha = \frac{0,81 \times 0,04}{0,9} = 0,036.$$

$$P = 0,036 \times 1,2 \times 0,122^4 \times 100^2 = 0,096 \text{ кг}.$$

При условии использования четырех винтов в разработанном квадрокоптере, общая тяга будет равна 0,384 кг. Приблизительный вес конструкции с установленной видеокамерой составляет 0,245 кг, можно заключить, что мощности электродвигателей и диаметра винтов достаточно для поднятия и удержания модели в воздухе.

Натурные испытания созданной модели показали, что при дополнительном весе в 0,080 кг работа квадрокоптера осуществляется в штатном режиме. Однако, при превышении данного веса наблюдается значительное снижение времени работы аккумулятора и скорости набора высоты, что объясняется приближением к максимальной тяге квадрокоптера. Для повышения тяговооруженности стоит рассмотреть возможность увеличения диаметра винтов или изменения их профиля.

#### **Список цитированных источников**

1. Свердлов, С. З. Статический потолок электрического мультикоптера / С. З. Свердлов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – Вып. 10.
2. Арзамасцев, А. А. Математические модели для инженерных расчетов летательных аппаратов мультироторного типа / А. А. Арзамасцев // Вестник российских университетов. – 2014. – № 6. – Ч. 1: Математика.
3. Александров, В. Л. Воздушные винты / В. Л. Александров. – М. : Оборонгиз, 1951. – С. 1821–1828.
4. Вершинин, И. Д. Способ построения имитационной модели воздушного винта / И. Д. Вершинин, Н. А. Зленко, А. Н. Кишалов // Ученые записки ЦАГИ. – 2008. – № 1–2. – С. 81–86.
5. Попков, М. А. Проектирование и оптимизация несущей системы квадрокоптера / М. А. Попков., М. В. Чугунов // Молодой ученый. – 2018. – № 14. – С. 30–35.
6. Бень, Е. Модели и любительские суда на воздушной подушке : пер. с польск. / Е. Бень. – Л. : Судостроение, 1983. – 71 с.