

Бухта Иван Сергеевич, магистрант,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения г. Санкт-Петербург

РЕКОМЕНДАЦИЯ ПО ВЫБОРУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ БПЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТИПА RECOMMENDATION FOR SELECTING AN ELECTRIC POWER SOURCE FOR AGRICULTURAL TYPE UAVS

Аннотация: При разработке БПЛА одним из важных факторов влияющий на важные характеристики беспилотного средства является источник питания. В зависимости от конструкции и назначения БПЛА меняются характеристики источника питания. Одной из важных задач является подобрать источник питания из списка аккумуляторов, который будет максимально эффективен при множестве ограничивающих факторов.

Abstract: During the development of the UAV, one of the important factors influencing the important characteristics of the unmanned vehicle is the power source. Depending on the design and purpose of the UAV, the characteristics of the power source change. One of the important tasks is to select a power source from the list of batteries that will be most effective with many limiting factors.

Ключевые слова: сельскохозяйственный БПЛА, источник питания, рекомендация выбора источника питания, аккумулятор БПЛА.

Keywords: agricultural UAV, power supply, recommendation for choosing a power supply, UAV battery.

Чтобы подобрать источник питания БПЛА необходимо провести подбор аккумулятора БПЛА на основе выбранной методики. Для более прикладного результата, в качестве разрабатываемого БПЛА рассмотрим сельскохозяйственный беспилотник типа DJI Agras T20.

Для того чтобы приступить к реализации методики и разработки для рекомендации источника питания БПЛА необходимо разработать структурную схему потребителей и рассчитать потребляемую мощность всех потребителей электрического тока. Структурная схема даст нам представления о том какие будут потребители и позволит нам в дальнейшем рассчитать их потребляемую мощность. Структурная схема представлена на рисунке 1.

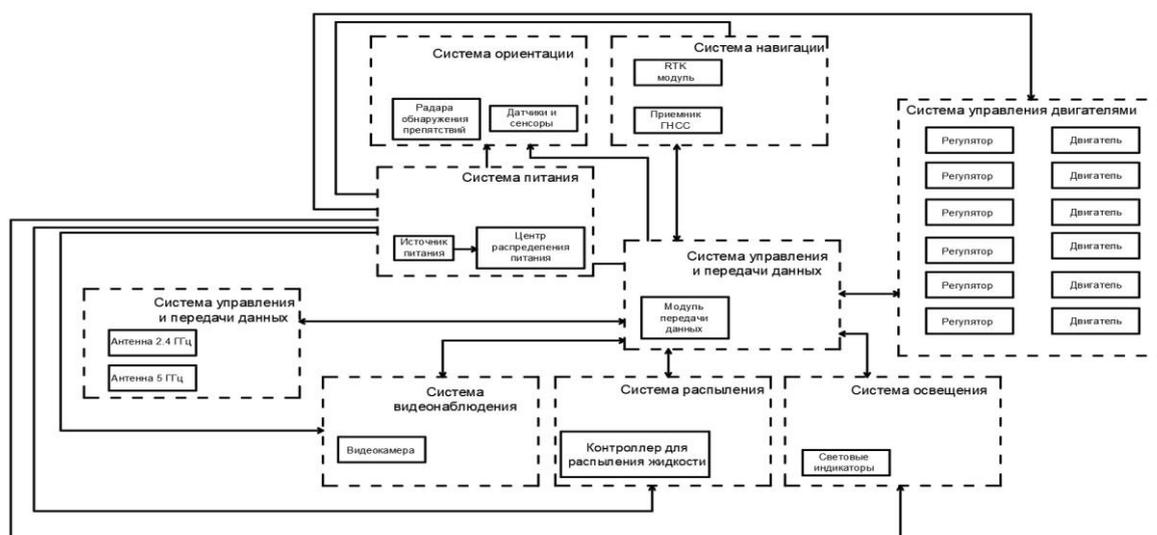


Рисунок 1 – Типовая структурная схема для БПЛА DJI Agras T20



На данной структурной схеме представлены системы БПЛА DJI Agras T20, а также их соединения с системой питания и соединения с помощью которых происходит управления беспилотником от модуля передачи данных. Управление БПЛА DJI Agras T20 происходит с помощью пульта управления, который находится у оператора БПЛА. В самом беспилотнике управления происходит за счет поступающих команд в модуль передачи данных, которые поступают от принимаемых антеннами сигналов управления от пульта оператора.

На структурной схеме видим, что беспилотник состоит из: системы управления двигателями, системы управления и передачи данных, системы видеонаблюдения, системы распыления, системы освещения, системы питания, системы ориентации и системы навигации.

Система управления двигателями представляет из себя шесть регуляторов скоростей, которые управляют шестью двигателями. Регуляторы скорости получают сигналы управления из системы управления и передачи данных, которая состоит из модуля передачи данных, который получает управляющие сигналы из пульта оператора БПЛА через антенны. Также модуль передачи данных обеспечивает информационный обмен между системами БПЛА и пультом оператора. Система видеонаблюдения состоит из камеры, которая выдает видеоизображения на пульт оператора БПЛА. Система распыления состоит из бака жидкости, контролера и регулятора подачи жидкости, систем трубок и форсунок, также может быть установлена система зондирования гранулированных удобрений. Система освещения состоит из светодиодов используемых для освещения поверхности земли и сигнализации БПЛА в темное время суток. Система питания состоит из источника питания и центра распределения питания, они представляют из себя аккумулятор и систему плат, которые распределяют и регулируют энергию по потребителям. Система ориентации представляет из себя радар обнаружения препятствий и набор датчиков и сенсоров. Система навигации состоит из модуля RTK и модуля ГНСС. Система ориентации и навигации в совокупности позволяют определить где находится и в каком положении в пространстве беспилотник.

Для понимая того, сколько потребляют комплектующие на БПЛА необходимо составить список в котором будут приведены комплектующие и их потребление. Список расчета комплектующих БПЛА типа DJI Agras T 20 выполнен в виде таблицы № 1.

Таблица № 1

Расчет потребления мощности комплектующих БПЛА

Название конструктивного элемента	Модель или описание конструктивного элемента	Вт
Основные двигатели	Бесколлекторный двигатель E1200	2700
Полетный контроль	A3 Pro	20
Система распыления	Насосы, клапаны, форсунки, бак для жидкости, контроллер для распыления жидкости.	500
Радар обнаружения препятствий	Радар DJI Agras RD2428R	30
RTK модуль приемник GNSS	DJI Agras T16/T20 RTK Antenna Module	10
Центр распределения питания	Power Distribution Board PCBA (Including ESC Power Cable) T20	50



Светодиодные индикаторы	Два светодиодных прожектора Propulsion Beacon External Shell возле камеры.	5
Модуль передачи данных и изображений	Модуль передачи OcuSync 2.0: Интегральная схема (система на кристалле или SoC), которая кодирует и передает видео и управляющие сигналы и 2 антенны.	15
Камера	FPV Camera Module	1,5
Датчики	Инерциальные измерительные блоки, барометры, датчик уровня жидкости бака, датчик расхода жидкости бака, датчики температуры, датчики тока и напряжения, датчики обнаружения складывания лучей.	1

Если мы суммируем все значения потребляемой мощности, то у нас получается, что беспилотник потребляет 3332.5 Вт мощности. Это значение получается с учетом того, что у нас двигатели работают на минимальной мощности и система распыление жидкости работает без остановки. Если мы считаем, что двигатели БПЛА работают на максимальную мощность, то потребляемая мощность становится равна

15 032.5 Вт. Это большое значения получается из-за того, что один двигатель E1200 потребляет от 450 до 2400 Вт. Соответственно, беспилотник не может работать вечно с максимальной нагрузкой на всех двигателях, это приведет к быстрому расходу аккумулятора и в сочетании с фактором температуры может привести к поломки двигателей из-за перегрева. Также необходимо проводить летные испытания БПЛА, чтобы понимать, как себя будут вести в реальности двигатели при разных нагрузках. Из выше написанного становится понятно, что главный фактор потребления энергии это двигатели и то в каких режимах полета они используется, все остальные потребители энергии не так критично влияют на потребляемую мощность БПЛА.

В этой работе был специально выбран беспилотник типа DJI Agras

T 20, так как предприятие, которое его разрабатывает провело все летные испытания и выложило их в открытый доступ. Благодаря чему, основываясь на этих данных, можно утверждать, что максимальная потребляемая мощность беспилотника 8 300 Вт. Это значит, что все двигатели не работают на максимальной нагрузке, хотя технически имеют возможность. Также в этих источников пишется, что потребление энергии в режиме зависание 6200 Вт при максимальной взлетной массой 47.5 кг.

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что для более точного понимания потребляемых мощностей и других характеристик беспилотника недостаточно теоретически рассчитать затраты потребляющих энергию комплектующих. Необходимо проводить испытания отдельных комплектующих БПЛА и экспериментального образца беспилотника. Это возможно при разработке изделия на предприятиях.

Далее необходимо найти множество парето, чтобы понять какие варианты аккумуляторных батарей являются лучшими для использования на данном БПЛА.

Для нахождения наилучшего варианта или вариантов аккумуляторных источников питания необходимо найти критерии: время полета при максимальной нагрузке и массу, которая может использоваться под размещение аккумуляторной батареи.

Для нахождения времени полета воспользуемся формулой:

$$t_{max} = \frac{\epsilon \cdot m_{a60x}}{P_{max}} \quad (1.1)$$

, где ϵ – ёмкость аккумуляторной батареи (Втч);

P_{max} – максимальная потребляемая мощность.

В нашем случае ϵ мы будем брать из вариантов выбранных аккумуляторных батарей из каталога или базе данных. P_{max} всегда будет одинаково и равно 8300 Вт, это число было



выведено из пункта 3.2. Следовательно во время расчетов мы будем использовать данную формулы в следующем виде:

$$t_{max} = 8300 \text{€} \cdot 60 \quad (1.2)$$

Далее нам потребуется найти массу аккумуляторной батареи беспилотника.

Нам известно из руководства по эксплуатации DJI Agras T 20, что максимальная взлетная масса при которой беспилотник может работать 47.5 кг. Из них 21.1 кг вес самого БПЛА и 20 кг вес полезной нагрузки. При разработке БПЛА данные цифры определяются путем расчета массы комплектующих, тяговооруженности двигателей и проведением испытаний, но так как мы ориентируемся на DJI Agras T 20, то от производителя у нас готовые данные.

Соответственно для расчета массы аккумуляторной батареи мы используем следующую формулу:

$$\Delta m = m - (m_{др} + m_{п.н.}) \quad (1.3)$$

где m – максимальная взлетная масса БПЛА;

$m_{др}$ – масса оборудования дрона (без аккумуляторной батареи);

$m_{п.н.}$ – масса полезной нагрузки (жидкость бака).

Подставляем известные нам данные в формулу и получаем следующее:

$$\Delta m = 47.5 - (21.1 + 20) = 47.5 - 41.1 = 6.4 \text{ кг} \quad (1.4)$$

Следовательно согласно это критерию мы имеем ограничение по массе от самого малого по весу аккумулятора до аккумулятора массой 6.4 кг.

Далее в этом методе эти два критерия будут влиять на ответ лица принимающего решения.

Также благодаря методу Парето мы сможем сделать выбор в пользу более легких аккумуляторов в ущерб времени полета, если нам необходимо будет сократить массу аккумулятора и увеличить массу БПЛА или полезной нагрузки.

Если бы в реальной жизни все аккумуляторные батареи были стандартизированы и идеальны, то на графике этих критериев мы бы увидели прямо пропорциональную зависимость, но из-за того что на аккумуляторы влияют многие факторы, то функция не будет линейной.

Для этого нам нужны модели аккумуляторных батарей, которые мы можем рассматривать для подбора. В таблице № 2 указаны модели аккумуляторных батарей и их характеристики в соответствии с ранее указанными критериями.

Таблица № 2

Модели аккумуляторов и их характеристики

Модель аккумуляторной батареи	Емкость (Втч)	Масса (кг)	Время работы (мин)
AB3-18000mAh-51.8V	932.4	6.39	6.74
NEW TATTU PRO 28000 mAh 3,0 58,8 V 25C 14S	1 646.4	9	11.9
BAX501-9500mAh/51.8V	492.1	3.8	3.55
OKCELL 44.4 V 12S 16000 mAh	710.4	4.2	5.13
Tattu G-Tech 6S 17000 mAh 15C 22,8 V	387.6	1.874	2.8
Herewin 12S 44,4 V 22000 mAh	976.8	5.6	7.06
ZDF 7S 25.9V 30000mAh 25C	777	4.3	5.61
Tattu 22000 mAh 6S 22.2 V	484.4	2.7	3.53
Tattu G-Tech 6S 23000 mAh 22,8 V	524.4	2.5	3.79
Tattu Pro NMC 16000 mAh 45,6 V	729.6	4.7	5.27



Далее строим график зависимости времени полета от массы аккумулятора и вносим модели источников питания в график показанный на рисунке 1.

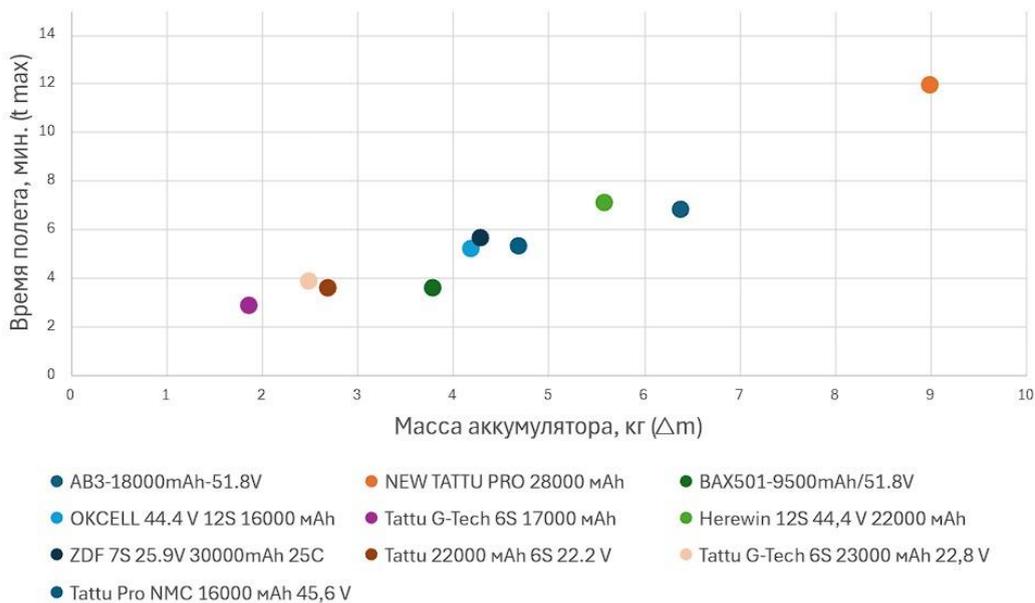


Рисунок 1 – График зависимости времени полета от массы аккумулятора

На графике представлены отношения времени полета от массы аккумулятора десяти аккумуляторных батарей. Также видно, что NEW TATTU PRO 28000 mAh 3,0 58,8 V 25C 14S не подходит по критерию массы.

Далее необходимо выделить компромиссные значения, как на рисунке 2.

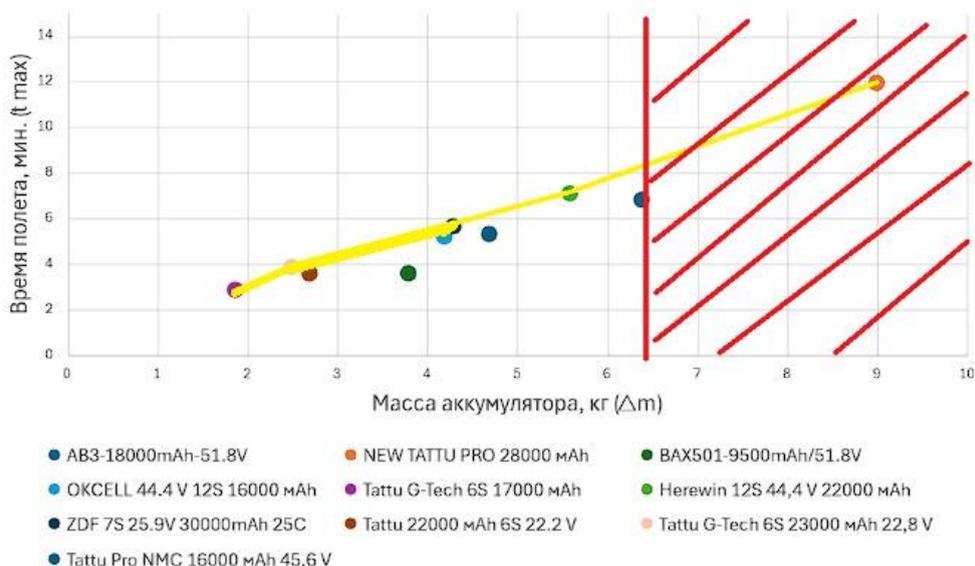


Рисунок 2 – График зависимости времени полета от массы аккумулятора с указанием компромиссных решений

Как видно на графике из десяти источников питания один не подходит нам по критерию массы и пять не являются компромиссными вариантами. Компромиссными вариантами



являются аккумуляторные батареи: Tattu G-Tech 6S 17000 мАч 15С 22,8 V, Tattu G-Tech 6S 23000 мАч 22,8 V, ZDF 7S 25.9V 30000mAh 25С, OKCELL 44.4 V 12S 16000 мАч и Herewin 12S 44,4 V 22000 мАч. Эти аккумуляторы и будут лучшими вариантами для выбора источника питания в БПЛА.

Далее из этих четырех источников питания лицо принимающее решение должен выбрать аккумуляторную батарею, которая больше всего ему подходит. Лицо принимающее решение может выбрать использовать несколько источников питания Tattu G-Tech 6S 17000 мАч 15С 22,8 V или Tattu G-Tech 6S 23000 мАч 22,8 V. Лицо принимающее решение может выбрать использовать один Herewin 12S 44,4 V 22000 мАч или использовать один ZDF 7S 25.9V 30000mAh 25С и выиграть немного по общей массе.

Список литературы:

1. Труфляк Е.В. Беспилотные технические средства в сельском хозяйстве. Учебное пособие для вузов, 2025. – 84 с.
2. Труфляк Е.В. Беспилотные технические средства в сельском и лесном хозяйстве. Учебное пособие для вузов, 2025. – 84 с.
3. Ногин В. Д. Множество и принцип Парето. Учебное пособие. – СПб.: 2022. 110 с.

