

ПОСТРОЕНИЯ БПЛА ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

Рассматривается возможность построения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для длительного полета. Сделано сопоставление затрат энергии полета для БПЛА роторного и самолетного типов. Установлено, что по затратам энергии возможно использование солнечных модулей Sunpower C60 для удержания в воздухе БПЛА только самолетного типа в течении всего солнечного дня. Показано, что БПЛА самолетного типа при использовании питания от LiPo батарей способны продержаться в воздухе в 3 раза дольше и пролететь расстояние в 7-8 раз больше, чем роторного типа.

Ключевые слова: БПЛА, Ardupilot 2.6, квадрокоптер, гексакоптер.

A.A. MYASISCHEV

Khmelnytsky National University

BUILDING A FLYING MACHINE OF LONG FLIGHT USING SOLAR MODULES

We show possibility of building an unmanned aerial vehicle (UAV) long flight. We made a comparison of the energy cost of flight for UAV of rotary-type and aircraft. Established that only solar modules C60 can use aircraft to hold in the air during a Sunny day. It is shown that aircraft when using power from the LiPo battery, able to survive in the air 3 times longer and fly the distance 7-8 times more than the rotary type.

Keywords: UAV, Ardupilot 2.6, quadcopter, hexacopter.

Постановка задачи

В настоящее время актуальной задачей является построение беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) длительного полета, например для выполнения задач авиа видео и фотосъемки, обеспечения связью удаленных районов. Этот аппарат при полете должен удерживать заданную высоту и позицию, выполнять автоматически полет по заданной траектории, приземляться в заданной точке. Для этого используются полетные контроллеры, оснащенные гироскопом, акселерометром, барометром, магнитометром, GPS приемником, как например, в полетном контроллере Ardupilot 2.6 (использует внешние магнитометр и GPS приемник).

В настоящее время известны ряд экспериментальных моделей по использованию солнечных модулей, которые по мнению их создателей в состоянии находиться в воздухе в продолжении солнечного дня [1–4]. Рассмотрим один из таких примеров, который представлен на рисунке 1.

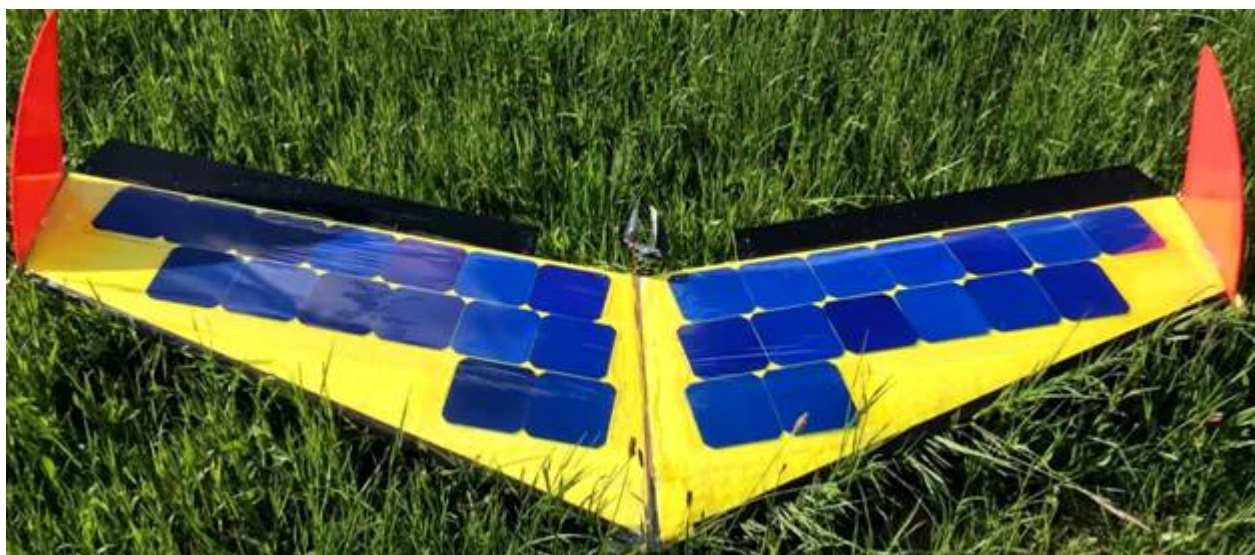


Рис. 1. Пример экспериментальной модели на солнечных элементах

Электронная система управления этой модели вместе с автопилотом Ardupilot 2.5, представлены на рис. 2.

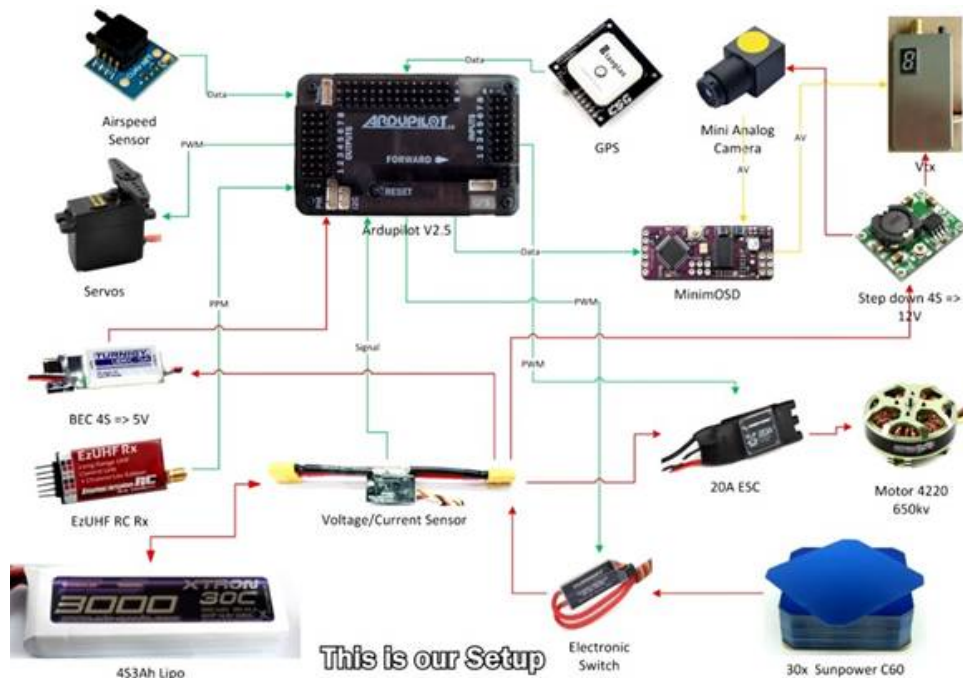


Рис. 2. Система управления моделью на солнечных элементах

Представленная модель пролетела больше 200 км [2]. Батареи LiPo при посадке были полностью заряженные. На модели установлено 30 солнечных элементов Sunpower C60 размером 125x125 mm (max ETA: 22,5%). Площадь солнечной батареи – 0,467 м². Размах крыльев – 2 м. Вес – 1660 г.

На рис. 3 представлено фото FPV (first person view) полета с совмещенной телеметрией. Видно, что после пролета 15.84 км напряжение на силовой аккумуляторной батарее соответствует полному ее заряду (16.81 В).



Рис. 3. FPV полет с совмещенной телеметрией.

Недостатком является то, что переключение на заряд батареи от солнечных элементов производилось не автоматически, а дистанционно с пульта управления, что опасно для литиевых аккумуляторов. Например, при обрыве связи можно пропустить момент допустимой зарядки по напряжению, что может привести к воспламенению батареи.

Изложение основного материала работы

Рассмотрим возможность построения таких БПЛА на основе существующих экспериментальных моделей и приближенных методов расчета. Следует также отметить, что в настоящее время стали доступны в продаже гибкие монокристаллические элементы солнечных панелей высокой эффективности Sunpower Maxeon C60, имеющие следующие характеристики: материал – Monocrystalline; напряжение XX – 0,67 В; напряжение – 0,56 В; ток КЗ – 6 А; ток – 5,7 А; мощность – 3,2 Вт; эффективность – 21%; размер – 125 x 125 мм.

Появление этих гибких, легких элементов, имеющих большую в четверть эффективность (21.8%), чем стандартные элементы позволило создавать солнечные батареи высокой мощности с малым весом. Используя известную среди моделестов программу eCalc [5] выполним ориентировочный расчет простой модели самолета (рис. 4) и сопоставим результаты с расчетом квадрокоптера. После этого сделаем выводы о возможности использования солнечных батарей для построения БПЛА на основе самолетной конструкции и мультироторной (квадрокоптер, гексакоптер и т.д.).

Для модели самолета на рисунке 4 выполнен расчет следующих параметров:

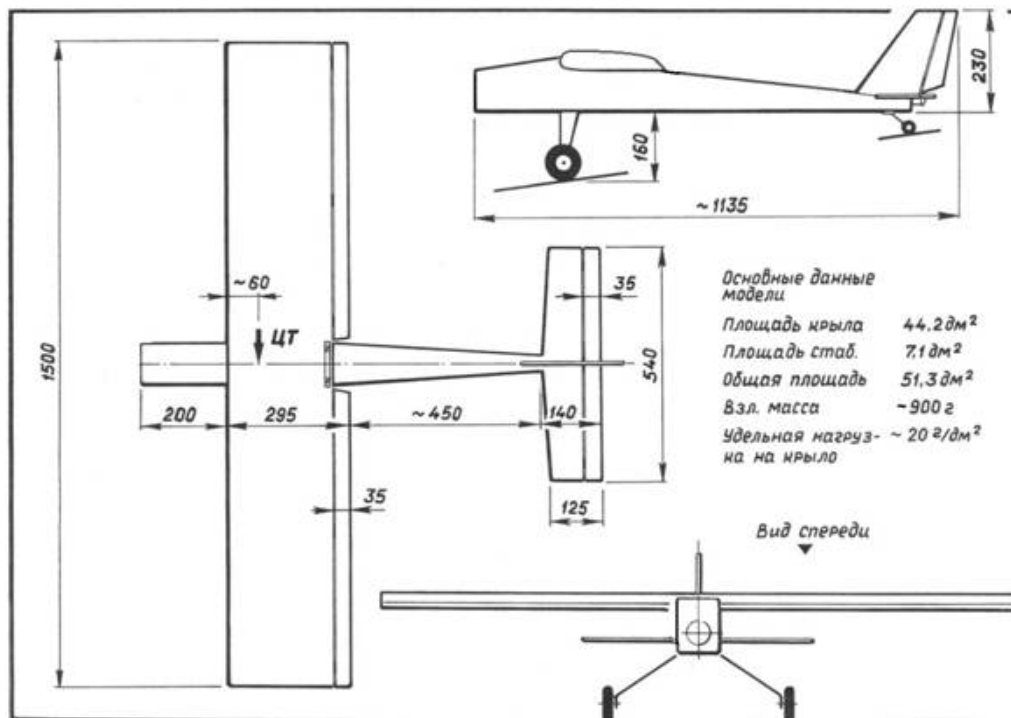


Рис. 4. Расчетная схема простой модели самолета

Максимальный режим для мотора (SunnySky A2212-980): ток: 7.00 А; напряжение: 7.17 В; обороты: 5897 об/мин; электрическая мощность: 50.2 Вт.

Рассчитанные параметры для самолета: полетный вес – 886 г; скорость сваливания (расчетная) – 20 км/ч; макс. скорость (горизонт) – 37 км/ч; макс. скороподъемность – 2.1 м/с; аккумулятор имеет общую емкостью 1800 мАч 2S1 (7.4в) и способен продержат модель для минимального полетного времени - 13.1 мин; для смешанного полетного времени - 14.3 мин; вес аккумулятора 86 г; пропеллер 10x45; тяговооруженность: 0.49 : 1.

Ниже представлен сравнительный расчет для квадрокоптера (рис. 5):

Рама F450. Мотор - SunnySky X2212-980 – 4 шт. Предельная мощность 300 вт.

Максимальный режим для мотора: ток: $4 \times 6.33 \text{ А} = 25.32 \text{ А}$; напряжение: 6.87 В; обороты : 5840 об/мин; электрическая мощность: $4 \times 43.5 \text{ Вт} = 174 \text{ Вт}$. Рассчитанные параметры для коптера: полетный вес: 892 г; скорость макс: 21 км/ч; макс. скороподъемность: 2.6 м/с; аккумулятор имеет общую емкость 1800 мАч 2S1 (7.4в) и способен продержат модель для минимального полетного времени - 3.6 мин, для смешанного полетного времени - 5.7 мин; вес аккумулятора 86 г; пропеллер 10x45 – 4 шт.

По расчетам коптер по полетному времени проигрывает самолету примерно в 3 раза, по потребляемой мощности примерно в 3.5 раза для максимальной нагрузки, а по скорости в 1.8 раза. Расчеты проведены при условии, что на самолете установлены солнечные элементы, а на коптере их нет. Если на коптер поставить солнечные элементы, то его вес возрастет еще на 250 г. Следовательно по потреблению электрической мощности он еще более проиграет БПЛА самолетного типа.

При установленных на самолете 14 элементов Sunpower C60 при хорошем солнечном дне с них можно снять около 45 Вт электрической мощности (расчетная мощность при максимальном режиме 50.2 Вт) при напряжении 7.8 В (расчетное - 7.17 В), что достаточно для полета планера с параметрами, представленными на рисунке 4.

С помощью программы eCalc выполним оценку смешанного времени полета БПЛА самолетного типа и времени висения квадрокоптера и гексакоптера в зависимости от емкости батареи. Эта оценка позволит выполнить дальнейшее сопоставление разных систем в энергетическом отношении. При анализе необходимо учитывать, что чем больше емкость батареи, тем больше ее вес, что приводит к увеличению полетного веса летательного аппарата. Например, вес самолета (рис. 1) без батареи 700 г, с батареей 3000mAh – 1031 г, а с батареей 12000mAh – 1624 г. Аналогично для коптеров. Были рассмотрены системы с следующими исходными данными.

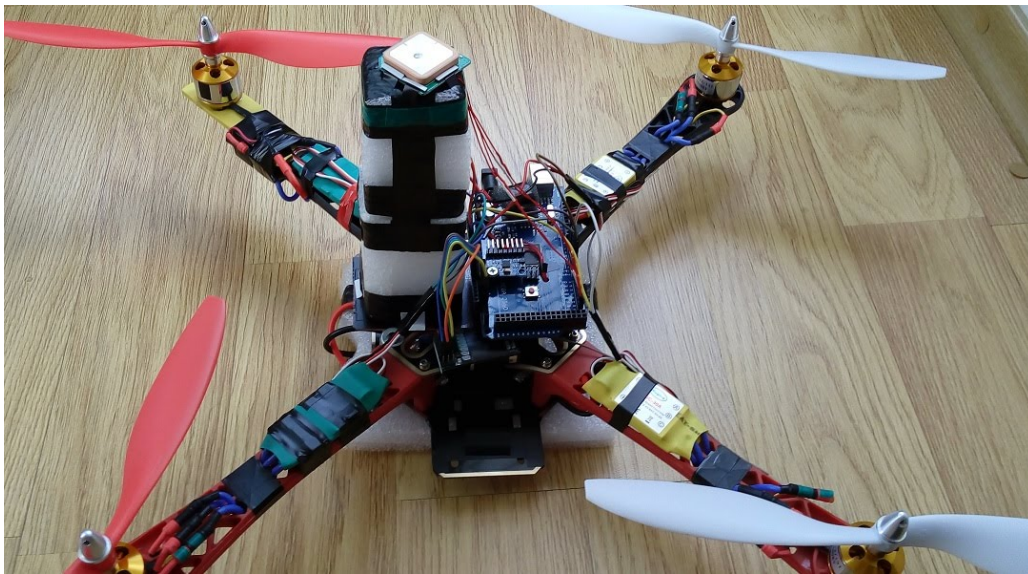


Рис. 5. Фото експериментального квадрокоптера

1. БПЛА самолетного типа.

Вес пустого самолета (рис. 4) - 700 г. Мотор SunnySky A2212-980, регулятор мотора ESC-30, пропеллер - 8*45(DJI), площадь крыла ~50 кв. дм. Батарея LiPo 3S напряжением 11.1 В.

2. БПЛА роторного типа.

2.1. Квадрокоптер - рама F450, 4 мотора SunnySky X2212-980, регулятор моторов ESC-30, пропеллер - 10*45(DJI), батарея LiPo 3S напряжением 11.1 В. Вес коптера без батареи 800 г.

2.2. Гексакоптер - рама F550, 6 моторов SunnySky X2212-980, регулятор моторов ESC-30, пропеллер - 10*45(DJI), батарея LiPo 3S напряжением 11.1 В. Вес коптера без батареи 1150 г.

На рис. 6 представлен график результатов расчета. Первая кривая для БПЛА самолетного типа показывает, что с увеличением емкости батареи время полета увеличивается почти линейно. Кривая ограничена тяговооруженностью модели, при которой ее устойчивый полет не может быть реализован. Расчетная скорость модели самолета для всего диапазона изменения кривой 1 составляла 57 км/час. Максимальный расчетный полетный вес составил 1624 г.

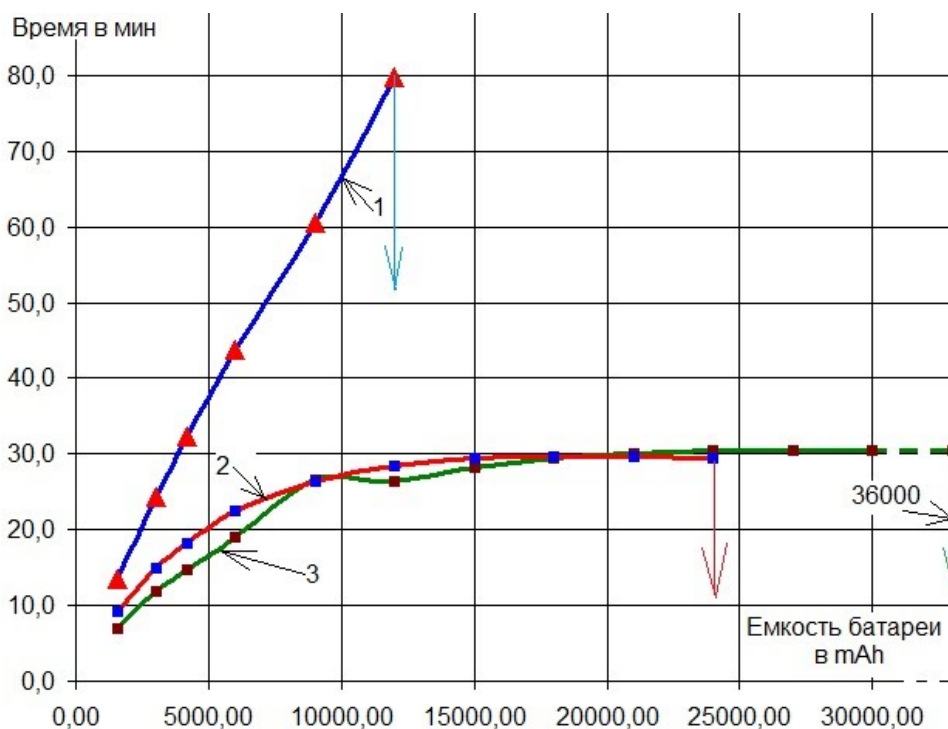


Рис. 6. График зависимости полетного времени самолета (1), квадрокоптера (2) и гексакоптера (3) от емкости силового аккумулятора

2-я кривая соответствует квадрокоптеру. Видно, что для любой емкости батареи максимальное время висения не превышает примерно 30 минут. Ограничение кривой 2 является недостаточная маневренность коптера по стику газа. Максимальный расчетный полетный вес составил 2504 г.

Максимальная расчетная скорость - 42 км/час для батареи 4200 mAh, потом она падает до 13 км/час. Для рассматриваемого коптера лучшей емкостью для батареи является ~6000 mAh при времени висения 23 мин.

3-я кривая соответствует гексакоптеру. Видно, что для любой емкости батареи максимальное время висения также не превышает примерно 31 минуты. Ограничение кривой 3 является недостаточная маневренность коптера по стику газа. Максимальный расчетный полетный вес составил 3706 г. Максимальная расчетная скорость - 42 км/час для батареи 4200 mAh, потом она падает до 15 км/час. Для рассматриваемого коптера лучшей емкостью для батареи является ~9000 mAh при времени висения 27 мин. Видно, что гексакоптер может находиться в воздухе с большей нагрузкой.

Выводы

1. В настоящее время экспериментальные исследования по созданию БПЛА длительного полета на основе солнечных элементов возможны только для самолетного типа.

2. Полеты в пасмурные дни возможны путем замены солнечной батареи весом ~250 г на литиевые аккумуляторы с равноценным весом. В случае замены возможна установка батареи емкостью около 7000 mAh, что позволит БПЛА находиться в воздухе до 1 часа (первый вариант расчетов). С этой целью солнечная батарея должна быть съемной, а в корпусе БПЛА должно быть место для установки дополнительного аккумулятора.

3. Расчеты показали (второй вариант), что время висения роторных систем при увеличении емкости батареи не увеличивается почти линейно, как для самолетных систем, а медленно достигает характерного для винтомоторной группы максимума, потом начинает уменьшаться.

4. Расчетами показано, что БПЛА самолетного типа при одинаковой с роторными системами емкостью батареи способны продержаться в воздухе примерно в 3 раза дольше и пролететь расстояние примерно в 7-8 раз большее за счет более высокой скорости. Оценочные расчеты выполнялись для приведенных выше исходных данных.

Литература

1. Solar flight - RC solar. 2016. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=M4SUKnp6Yrw>.
2. Record SOLAR flight [6 hours/200km] RC Plane/FPV/Drone/Aircraft. 2016. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=KHV-RjvTb1c>.
3. EZ Solar Glider 2. 2016. URL: <http://ezsolarglider.blogspot.fr/>.
4. RC SOLAR AIRCRAFT WITHOUT ACCU THAT'S GREAT AND AMAZING DEMO FLIGHT. 2016. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aCeMHfzxDH8&t=25s>.
5. eCalc - electric drive simulation and calculation - the most reliable RC Calculator on the Web. 2017. URL: <https://www.ecalc.ch/>.
6. Солнечные модули SunPower. 2011. URL: <http://sun-life.com.ua/index.files/sunpower.htm>.
7. Ardupilot. 2016. URL: <http://ardupilot.org/>, 2016.

Рецензія/Peer review : 3.4.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією