

Ростовская область

**Государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного
образования областной центр технического творчества учащихся**

Беспилотный летательный аппарат с возобновляемым источником энергии

«Практическая астрономия»

Кожухов Владислав Витальевич, 10-11 «В» класс

Педагог дополнительного образования

Котова Ольга Викторовна

Научный консультант:

Майсак Мария Викторовна, доцент МАИ, к.т.н.

г. Ростов-на-Дону

2015 год

Оглавление

1. Введение	3-4
2. Цели и задачи, гипотеза, методы исследования.	4-6
3. Этапы работы.	6
4. Создание тестовой модели крыла.	6-7
5. Поляра модели.	7-8
6. Анализ продолжительности полёта.	8
7. Создание чертежа	9
8. Профиль полёта	9
9. Расчёт доступной поверхности для установки солнечных батарей.	9-10
10. Модель 1:5.	10
11. Модель 1:1.	11
12. Выводы.	12-13
13. Дальнейшие планы.	14
13. Список литературы.	15
14. Приложение	16-19

Введение

Солнечная энергетика очень важна во многих отраслях народного хозяйства, она является альтернативной сферой энергетики, основанной на использовании излучения солнца для получения энергии. Солнечная энергетика использует неисчерпаемые источники энергии и является экологически чистой.

Для авиационной сферы солнечная энергетика является своеобразным ключом, который помогает решить ряд проблем: уменьшает загрязняющие выбросы в окружающую среду и шумовое загрязнение, снижает зависимость от невозобновляемых источников энергии (НИЭ). Это открывает новый путь к изучению солнечной энергии в качестве источника энергии для авиации.

Возможность увеличения продолжительности полёта воздушного судна один из ключевых вопросов и цель исследований, как в области гражданской авиации, так и для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В последнее время это стало актуальной проблемой из-за массовых лесных пожаров (которые могут занимать сотни квадратных километров), непредвиденных ситуаций на газо/нефтепроводах, серьезных поломок линий электропередач. Это достаточно важно для горных территорий, где доступ к линии электропередач не может сохраняться круглогодично. Так же существует ряд проблем, которые требуют от БПЛА оставаться в воздухе на протяжении длительного времени, это: связь в труднодоступных регионах, исследование погоды, мониторинг экологической ситуации.

На протяжении многих лет было невозможным создать БПЛА на солнечных батареях (они весили очень много, были неэффективными). Но прошло достаточно времени с момента создания первых прототипов.

Самолеты, которые используют солнечную энергию для обеспечения полета, являются своеобразным типом летательных аппаратов (ЛА), большинство горизонтальных поверхностей которых покрыто фотоэлектрическими элементами, преобразующими энергию солнечного

излучения в электрический ток [1]. Эта энергия используется для обеспечения поступательного движения ЛА.

Фотоэлектрические элементы могут быть использованы для сбора электроэнергии в течении дня [3]. Они будут обеспечивать питание двигателю и бортовой технике, а оставшееся количество энергии должно запасаться для ночного периода.

Теперь мы можем видеть большое количество проектов в этой области, таких как The Helios (БПЛА летающее крыло, созданный при поддержке и финансировании NASA) [2]. Проект имел ряд проблем, таких как большие габариты - 12-метровое крыло, которым было очень сложно управлять. Масса БПЛА была достаточно большой, что не позволяло, используя солнечные батареи подниматься на большую высоту, где эффективность солнечных батарей увеличивается в разы.

Проект The Zephyr, проект Star Impulse (они имели схожие проблемы с The Helios) [4]. В июле 2014 года компания Google приобрела разработки Titan Aerospace, который, как планируется, будет обеспечивать связь и интернет в труднодоступных регионах.

Целью работы является разработка БПЛА с увеличенной продолжительностью полета, благодаря использованию солнечной энергии.

Задачи:

1. Сбор информации о БПЛА с возобновляемыми источниками энергии
2. Создание чертежей модели
3. Испытание опытных образцов модели, отработать полётные характеристики
4. Установка системы ГЛОНАСС/GPRS предназначенной для оперативного навигационного обеспечения и комплекса для автономного полёта

Гипотеза

Возможно создать летательный аппарат с малым размахом крыла и возможностью подзарядки во время полёта (для увеличения дальности полёта).

Методы исследования

- Анализ
- Сравнение
- Эксперимент
- Компьютерное и материальное моделирование

Постановка задачи

Создание БПЛА класса «MINI» для реагирования во время чрезвычайных ситуаций на территории степных зон всего земного шара (более 6 425 000 км²). БПЛА должен иметь систему ГЛОНАСС/GPRSпредназначенную для оперативного навигационного обеспечения. Комплекс должен включать систему автономного производства энергии.

Аппарат должен иметь следующие характеристики:

1. Средняя скорость полёта не менее 22,2 м/с.
2. Дальность полёта не менее 10 км.
3. Масса аппарата не более 2 кг.
4. Полезная нагрузка аппарата не менее 0,2 кг.
5. Размах крыла не более 3 метров.
6. Полёт на высотах не менее 0,5 км.
7. БПЛА должен иметь эксплуатационные разъёмы
8. Цена БПЛА не должна превышать 40000 Р.
9. Температура работы системы -15 до +45

Достижение поставленной цели осуществляется благодаря двум основным составляющим:

- 1) применение на летательном аппарате фотоэлектрических преобразователей (ФЭП);
- 2) создание БПЛА использующего «выгодные» параметры для установки солнечных батарей.

Для выполнения поставленных задач был проведен инженерный анализ, который включал: формулирование цели работы, выбор варианта технического решения, проведение компьютерного моделирования, построение физической модели, вычисления, (оптимизация), оценка и выдача рекомендаций.

После этого был составлен план работы по созданию модели.

План исследования. Этапы построения модели

- Создание на компьютере тестовой модели крыла
- 3D поляра модели
- Анализ продолжительности полетного времени, используя необходимую программу
- Создание чертежа
- Профиль полёта
- Расчёт доступной поверхности для установки солнечных батарей
- Создание мини-модели 1:5
- Отладка. Испытание прототипа
- Создание модели 1:1; испытание летных характеристик
- Оснащение плёночными батареями
- Испытание

- Отладка. Повторные испытания

Создание тестовой модели крыла

1. Устанавливаем программу Ruffer UAV.
 2. Выбираем тип анализа, это можно сделать, выбрав в меню программы «Type 1» (Он используется при фиксированной скорости и величине хорды).
 3. Для каждого из профилей мы должны рассчитать **графическую зависимость коэффициента подъемной силы от коэффициента лобового сопротивления при различных углах атаки (поляра)**, который должен покрывать диапазон чисел Рейнольдса (определённых DIY), соответствующие необходимым полетным режимам.
 4. Открываем вкладку «Polars», переходим на Run Batch Analysis, затем Edit List
 5. Задаём параметры крыла, которые были предложены в DIY
 6. Задаём предполагаемую площадь крыла (считаем сколько энергии требует двигатель и сколько метров солнечных батарей нам необходимо)
- Нажимаем Start. Программа выдаёт результат. Сохраняем его.

Поляра модели

Ход работы.

1. Открываем вкладку «Polars», выбираем «Define polars analysis».
2. Определяем, какой вид анализа нам необходим: 1) «fix Speed» используется при постоянной скорости 2) «fix Lift» при постоянной подъемной силе 3) «fix Alpha» при постоянном угле атаки. При анализе планируемого нами полета, когда крыло создает достаточное количество подъемной силы, для поддержания горизонтального полета, поэтому нам подходит «fix Lift».

3. Указываем вес модели в подпункте «plane weight»: 1800г.
4. Выбираем метод расчета - «vIm»
4. Запускаем программу. Сохраняем файл.
5. Анализ поляры модели в режиме работы «View». График, полученный в пункте 3, показывает: зависимость горизонтальной скорости модели от скорости снижения.

(см. График 1)

Минимальная скорость снижения 0,39 м/с. Она соответствует горизонтальной скорости модели около 1,1 м/с. Эта величина больше, чем скорость срыва.

Точка «Максимального качества» соответствует горизонтальной скорости 10,7 м/с. Эти точки определяют два важных режима полёта планера: полет максимальный по продолжительности и полет на максимальную дальность.

Анализ продолжительности времени в полёте

(используя программу «MotoCalc»)

1. Открываем файл 3D поляры модели.
2. Нажимаем кнопку рассчитать. Сохраняем файл.
3. Анализируем полученный результат **(см. График 2)**
4. Исходными данными для анализа MotorSet будут: скорость модели и соответствующая тяга мотора на данной скорости, сопротивление модели Drag(N).C помощью программы XFLR5, по графику сопротивления модели от v_x , при N 11м/с, 17м/с и 27м/с. Увеличиваем значения на 13%, для учета сопротивления дополнительных конструктивных элементов на реальном ЛА. **(см. График 3)**
5. Подбираем в «MotoCalc» значение отклонение «стика» для получения нужной тяги на этих скоростях и получаем ток и полетное время: **(см. Таблица №1)**

Создание чертежа

1. Открываем программу AutoCad
2. Создаём новый файл.
3. Создаём чертёж, используя параметры, рассчитанные нами. Профиль крыла на основе, которого создаём чертёж FMX-4. *(см. Рисунок 1)*

По классификации моделей АМА наш будущий БПЛА будет принадлежать к классу С (StandardClass)

Профиль полёт БПЛА

(см. График 4)

- Взлет. Предполагаемая продолжительность составляет 1 секунду, без учёта периода турбулентности.
- Набор высоты. Предполагаемая продолжительность 4 минут, чтобы достичь значения 500 м.
- Крейсерский полёт. Время в пути 12 минут
- Снижение. Продолжительность 3 мин.
- Посадка.

Для каждого сегмента миссии определены следующие параметры: скорость полета (v), высота (H), максимальный коэффициент подъемной силы (CL_{max}), коэффициент подъемной силы (CL), коэффициент лобового сопротивления (негативного) (CDP), индуцированный коэффициент лобового сопротивления (CDI), коэффициент лобового сопротивления (CD), плотность воздуха (ρ). *(см. Таблицу №2)*

Расчёт доступной поверхности для установки солнечных батарей

Солнечные батареи устанавливаются на верхнюю поверхность крыла. Площадь доступная (SPV) будет меньше, чем площадь исходная (S_{ref}). Это

связано, прежде всего, с формой самого профиля крыла. Для того, чтобы оценить SPV необходимо найти три параметра кривизны: коэффициент кривизны на передней кромке $CFLE = 15\%$ (у нашего профиля), коэффициент кривизны на задней кромке $CFTE = 10\%$, а так же коэффициент кривизны на боковой кромке $CFW = 18\%$ [5].

Ширина (доступной поверхности)

$$c_{PV} = \frac{100 - CFLE - CFTE}{100} \cdot c,$$

Длина (доступной поверхности)

$$b_{PV} = \frac{100 - CFW}{100} \cdot b,$$

Площадь (доступной поверхности)

$$S_{PV} = c_{PV} \cdot b_{PV}$$

В итоге расчетов получили следующую площадь солнечных батарей 0.74 м^2 .

Создание модели 1:5

Для того чтобы создать крыло правильной конструкции, нужно было сделать три части этого крыла. Необходимо было собрать специальный станок для сборки таких деталей. За основу был взят чертёж из статьи «Ручной инструмент из моделизма». (см. *Рисунок 2*)

По чертежу, созданному в программе AutoCad (см. *Рисунок 1*), была построена миниатюрная копия БПЛА. Была использована потолочная плитка, стеклопластик. На модель был установлено две рулевые машинки и две тяги, приёмник, шасси. Были проведены эксперименты по регулировке БПЛА с помощью элевон. Запуск БПЛА осуществлялся с леера, что позволило эффективно поднять БПЛА на высоту и проверить его устойчивость. Были выявлены ряд проблем, связанные с регулировкой с помощью рулей высоты.

Создание модели 1:1

(см. Рисунок 3)

Для создания данного БПЛА был усовершенствован чертёж конструкции «летающее крыло» FMX-4. Были использованы плёночные солнечные батареи, которые выдерживают повышенную влагу, их КПД 26%. Был разработан контроллер заряда (используемый для преобразования энергии, получаемой от солнечных батарей для подзарядки литий-ионного аккумулятора). В систему интегрирована камера на сервоприводе работающая в вертикальной плоскости.

В результате проделанной работы, при заданных условиях, у нас получился следующий ряд характеристик. Общие характеристики:

Основные лётно-технические характеристики (ЛТХ)	Значения
Размах крыла, м	2,3
Площадь крыла, м ²	1,1
Площадь солнечных батарей, м ²	0,74
Взлетная масса (максимальная), кг	1,8
Высота полета, м	350
Дальность полета, км	В зависимости от питания самолёта (~18км)
Крейсерская скорость, м/с	22,2

Выводы

В ходе разработки системы:

- Произведён сбор информации о БПЛА с возобновляемым источником энергии
- Созданы чертежи, сконструированы три модели БПЛА
 - **Первая** – испытательная мини-модель на которой отработывалась новая конструкция.
 - **Вторая** – испытательная модель 1:1 (рама сделана из композитных материалов, обшита пенопластом). На ней отработывался пуск и посадка БПЛА, передача и приём сигнала, защита канала.
 - **Третья** – конечный продукт. БПЛА, с солнечными плёночными батареями. Был произведён полёт. Дальность – 18 000 метров. Средняя скорость полёта – 80 км/ч. Плёночная солнечная батарея работает - удовлетворительно. Система передачи сигнала работает – удовлетворительно. Система регулировки - удовлетворительно.
- Проведены испытательные полёты, комплекс по автономному производству энергии работает удовлетворительно
- Установлен комплекс GPS/ГЛОНАСС, создана система автономного полёта

Спланированы работы по усовершенствованию конструкции БПЛА. Общая стоимость БПЛА с учётом затрат на производство: 34 500 Р

За полтора года нам удалось собрать БПЛА с возобновляемым источником энергии и возможностью разъёма крыла для транспортировки. Создать систему управления БПЛА с земли по заданным координатам. Увеличить дальность полёта, при этом сделав беспилотник лёгким и выдержать бюджет на изготовление аппарата. Разобраться в системе

регулировки беспилотника и создать систему на основе элевон, при этом оставив рули высоты для незначительной корректировки движения в вихревых потоках.

Все полученные характеристики соответствуют техническому заданию.

Работа актуальна, т.к. предлагается БПЛА с возобновляемым источником энергии, и возможностью разёма крыла для транспортировки. С увеличением КПД пленочных солнечных батарей востребованность в таких БПЛА только увеличится.

Новизна заключается в используемой конструкции и размерах. Большинство зарубежных прототипов (NASA проект The Helios, проекты Titan Aerospace и др.) – это планеры с размахом крыльев до 60 м, предназначенные для полетов на большой высоте длительное время. Наш аппарат относится к серии мини. Это моноплан-бесхвостка, имеет небольшую массу, размах крыльев не более 3 метров.

Дальнейшие планы

1. Создать (или установить) систему автоматического взлёта и посадки. (Эта задача находится на стадии выполнения. Был найден аналог программного обеспечения для взлёта бипланов, ведётся доработка программного обеспечения. Первый автономный полёт планируется произвести во второй половине марта.
2. Доработать конструкцию БПЛА, увеличить устойчивость во время совершения полёта. Были разработаны винглеты параллельные центральной оси БПЛА. Это позволит снизить появление индуктивного сопротивления. Установка аэродинамических законцовок позволит добиться оптимальной формы распределения подъёмной силы.
3. Создать защищённый канал связи.

Список используемой литература

1. Костенко И. К. Летающие крылья. Изд.2, перераб. и доп. М, 1988. 104 с.
2. Gunston, Bill. "The Osprey Encyclopaedia of American Aircraft 1875–2012". London, Osprey. 2013.
3. Maksel, Rebecca (January 11, 2010). "Need to Know - The Flying Wing". Air & Space Smithsonian.
4. "The A.W. Flying Wing" (Magazine). Flight. Retrieved 18 July 2010.
5. H'ector Manuel Gonza'lez Vidales. Design, Construction and Test of the Propulsion System of a Solar UA. Instituto Superior T'ecnico, Lisboa, Portugal. March 2013

Электронные ресурсы

1. http://www.rcdesign.ru/articles/tools/handy_tools

Приложение

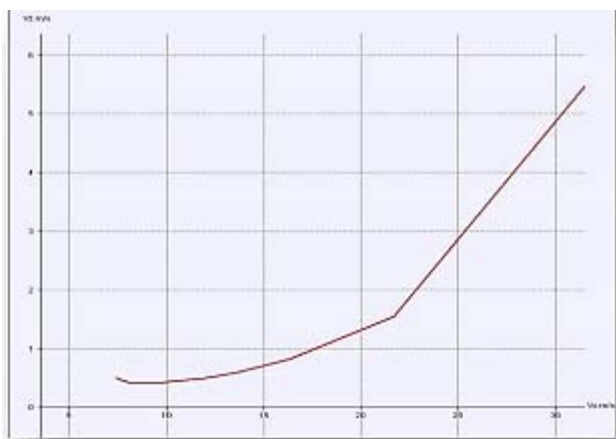


График 1. Зависимость горизонтальной скорости модели от скорости снижения

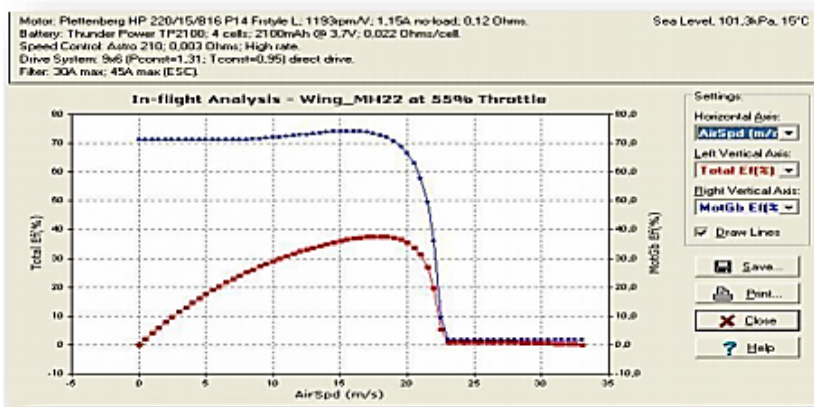


График №2. Зависимость эффективности двигателя от скорости

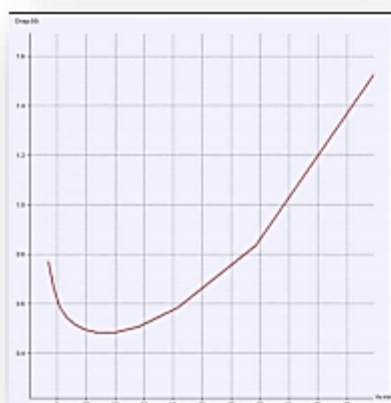


График №3. Скорость модели и соответствующее ей сопротивление.

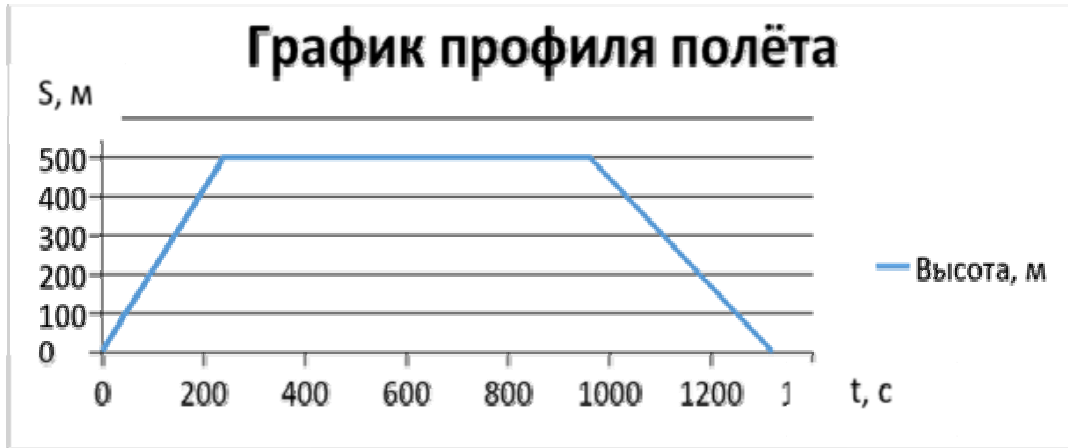


График №4. Профиль полёта БПЛА

	Скорость модели	Ток	Полетное время	- 50%
Эконом.	12м/с	4,5А	70мин.	35мин.
Раб.	18м/с	5,5А	38мин.	19мин.
Макс.	28м/с	8А	18мин.	9мин.

Таблица №1. Характеристика работы системы в разных режимах

	v (m/s)	h (m)	C_{Lmax}	C_L	C_{Dp}	C_{Di}	C_D	ρ (kg/m ³)
Взлёт	4.91	0	1.557	1.062	0.0304	0.0120	0.0424	1.225
Набор высоты	7.29	1000	1.552	1.081	0.0261	0.0291	0.0552	1.112
Крейсерский полёт	7.29	1000	1.552	1.081	0.0261	0.0291	0.0552	1.112
Мак. скорость	20.66	1000	1.539	0.140	0.0304	0.0015	0.0319	1.112
Снижение	10.44	1000	1.547	0.526	0.0212	0.0078	0.0290	1.112

Таблица №2. Профиль полёта.

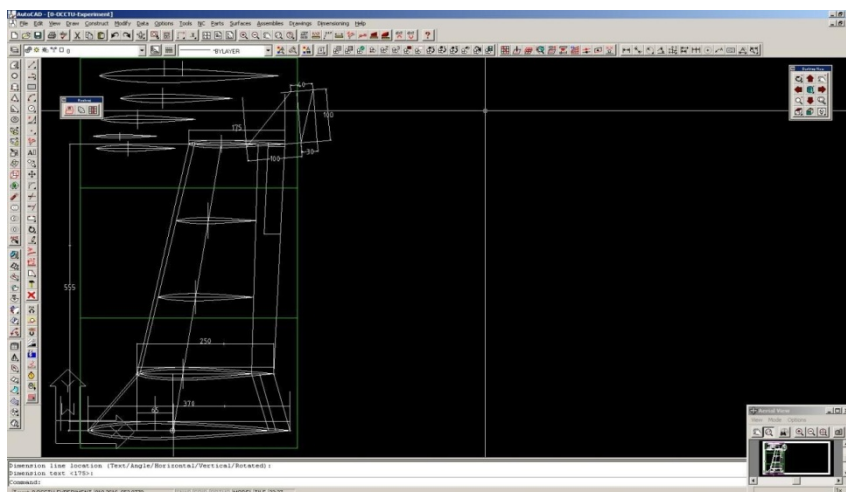


Рисунок 1. Чертеж части крыла



Рисунок 2. Станок для сборки крыла



Рисунок 3. Беспилотный летальный аппарат с возобновляемым с источником питания и возможностью разъема крыла