

О комплексном подходе к проектированию малогабаритных беспилотных летательных аппаратов

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Предложен комплексный подход к проектированию и изготовлению МБПЛА на базе теоретических знаний в области конструирования, аэродинамики, систем управления и программирования с применением объектно-ориентированных программных средств. Аэродинамические свойства МБПЛА можно оценить путем продувки его в аэродинамической трубе или в виртуальной компьютерной среде систем SolidWorks или ANSYS, в которых строится и геометрия 3D модели. Состав бортового оборудования МБПЛА определялся автономностью решения задач управления полетом и резервированием некоторых элементов.

Ключевые слова: проектирование, моделирование, аэродинамические характеристики, бортовое оборудование, центр масс и давления, канал и сигнал управления.

Огромный интерес к созданию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в последние годы обусловлен рядом факторов [1], которые привлекли внимание к проблеме не только самих разработчиков, но и тех, кто занимается материалами для авиамоделлизма, устройствами, входящими в состав бортового оборудования (БО), разработчиков программ различного назначения. В настоящее время для создания малогабаритного БПЛА (МБПЛА) предлагается множество объектно-ориентированных программных средств [2], позволяющих начинающим модельерам достаточно быстро «спроектировать» изделие желаемой конфигурации. Но дальнейшие шаги в процессе изготовления, а тем более первых пробных полетов зачастую упираются в сбои в конструкции, работе БО, связях с землей и приводят иногда к потерям моделей или их значительным доработкам.

В настоящей работе предложен комплексный подход к проектированию и изготовлению МБПЛА на базе теоретических знаний в области конструирования, аэродинамики, систем управления и программирования. По сути требуется формализовать проектно-производственную задачу в области «аэромехатроники».

Как правило, задача на проектирование формулируется в виде технического задания, содержащего исходные данные и требования к объекту, имеющиеся ресурсы и конечную цель работы. Важным является последовательная взаимосвязь проектной, технологической и производственной частей работы по созданию МБПЛА. В условиях домашнего или лабораторного производства это означает подготовку ресурсной базы или изменение требований на стадии проекта под располагаемые финансы.

Наилучший результат в ходе проектирования и создания модели достигается при максимально возможном применении автоматических устройств или исключении ручного труда. Например, при раскрое материала для фюзеляжа, крыла, оперения и рулей идеальным представляется изготовление корпусных деталей на 3D принтере.

Для МБПЛА, как и для любого другого летающего аппарата тяжелее воздуха, актуальной проблемой остается оптимальная трата энергии, необходимой для полета требуемой продолжительности. Поэтому задача выбора

компоновочной схемы модели, ее планера, должна быть, как нам кажется, первоочередной среди этапов проектирования. Использование предполагаемых аэродинамических свойств модели (способность создавать максимальную подъемную силу при минимальном сопротивлении) позволит значительно увеличить энергетические возможности МБПЛА.

Следующей должна решаться задача определения предварительного (в первом приближении) положения центра масс (ц. м.) модели по информации о составе бортового оборудования и массе планера. Согласно известным методикам [3] ц. м. должен находиться в районе 30...40% средней аэродинамической хорды крыла. Малогабаритные модели очень хорошо управляемы, поэтому стоит обратить внимание на формирование достаточного запаса статической устойчивости, а значит, на определение положения центра давления по имеющейся компоновочной схеме планера.

Получить аэродинамические характеристики МБПЛА многие начинающие конструкторы не пытаются вовсе, летные свойства проверяются зачастую на пробных пусках, которые нередко завершаются поломками модели. Изменить эту практику можно только при использовании комплексного подхода, заключающегося в продувке модели в целях получения аэродинамических характеристик и проверке ее динамических особенностей путем математического моделирования. Аэродинамические свойства МБПЛА можно оценить путем продувки его модели в аэродинамической трубе и в виртуальной среде типа Flow в SolidWorks или ANSYS [2]. Причем, корпус модели или ее детали целесообразно уже на этом этапе изготавливать на 3D принтере. На основе стандартной методики [1] упрощения уравнений, описывающих движение ЛА, по имеющимся аэродинамическим коэффициентам модели и опробованным тяговым характеристикам двигателей проводится компьютерное моделирование динамики полета МБПЛА на типовых режимах и изолированных движениях. По переходным характеристикам определяются динамические свойства модели, показатели устойчивости и управляемости. В случае неудовлетворительных показателей модель подлежит доработке, повторному получению аэродинамических характеристик и динамических свойств. Процесс уточнения модели прекращается после достижения показателями устойчивости и управляемости требуемых значений. Опыт показывает [3], что дальнейшие летные испытания модели проходят без серьезных аварий и потерь.

В настоящее время практически все МБПЛА, кроме, может быть, «пилотных» моделей, строятся с БО, в состав которого входят «автопилоты» на базе датчиков углов, линейных ускорений и минибаровысотометров с PID-регуляторами сигналов управления рулевыми поверхностями. Для таких моделей динамические свойства существенно улучшаются работой «автопилота», однако универсальных параметров PID-регулятора не бывает, они требуют настройки под конкретный МБПЛА.

Предлагается на этапе моделирования динамики полета МБПЛА учитывать наличие «автопилота» путем включения алгоритмов его работы в соответствующем канале управления в математическую модель движения. Да и в целом учет возможностей систем автоматического управления полетом еще на стадии проектирования позволяет несколько по-иному подойти к формированию конструкции и аэродинамических свойств модели: появляется возможность проверить эффективность аэродинамических органов управления, диапазона отклонения и изменить их площадь и конфигурацию еще до создания конструкции.

Описанные выше подходы к проектированию МБПЛА опробовались на примере модели универсального типа (рис. 1), сочетающей в себе возможности взлета и посадки, зависания по-вертолетному, в то же время имеющей возможность полета с использованием аэродинамики крыла и органов управления. В кругах модельистов она получила название Vertigo [4]. В качестве основного движителя используются соосно расположенные двухлопастные винты, приводимые во вращение электродвигателями. По принятой классификации МБПЛА подобной геометрии относится к классу интегральных аэродинамических схем.

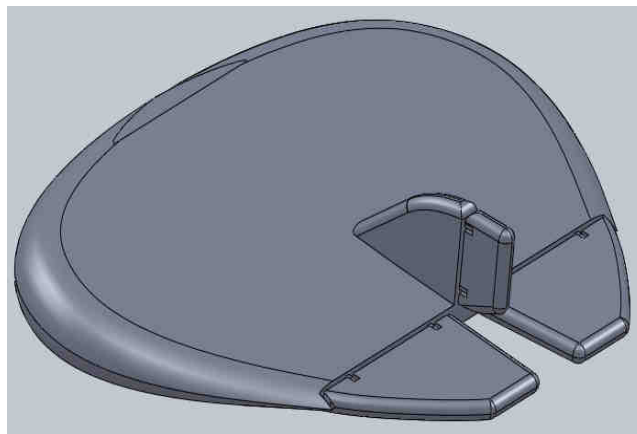
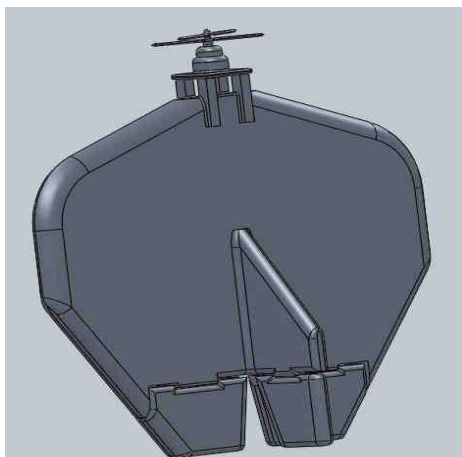


Рис. 1. Модель МБПЛА типа Vertigo Рис. 2. Результат выбора геометрии модели

Планер и рулевые поверхности проектировались в среде SolidWorks, позволяющей создать конфигурацию любой формы с последующей проверкой ее на прочность при предельных значениях скоростей полета, нагрузках и ветровых возмущениях. При работе над моделью учитывали материалы, из которых предполагалось строить корпус и элементы рулевых поверхностей, основным критерием (как практически для всех МБПЛА) в этом случае явился минимально возможный вес планера и рулей при максимальной жесткости конструкции.

Форма модели уточнялась путем продувок ее в виртуальной имитационной среде Flow. После нескольких итераций геометрия модели приобрела окончательные черты и стала соответствовать профилированной плоскости крыла овальной формы (рис. 2). Для предохранения бортового оборудования и придания лучших аэродинамических свойств модели по возможности все составные части БО размещают внутри корпуса.

Состав БО строящегося в исследовательских целях МБПЛА Vertigo определялся автономностью решения задач управления полетом как на автопилотных, так и траекторных (требующих определения местоположения модели) режимах и резервированием некоторых элементов оборудования. Комплект БО включает в себя:

- два тяговых двигателя AEO-RC CR23L в общем корпусе (рис. 3, а) с противоположно вращающимися двухлопастными винтами, тяга - до 800 г, масса в сборе - 110 г;
- аккумулятор типовой литиевый (рис. 3, б) напряжением 11,1 В, емкостью до 2000...2500 мА, масса - до 162 г;
- два регулятора хода (рис. 3, в) массой по 47 г;

- три сервопривода (рис. 3, г) типа NEXTRONIK NXT900 или Tower Pro MG90S для поворота рулей высоты и руля направления массой по 10 г;
 - плата контроллера с встроенными датчиками углов и ускорений типа KK 2.1.5 или ArduPilot Mega APM 2.5.2 (рис. 3, д) дополнительно с датчиками магнитного курса и барометрической высоты массой 55 г или 32 г соответственно.
- Вес основных соединительных проводов учтен в составе оборудования.

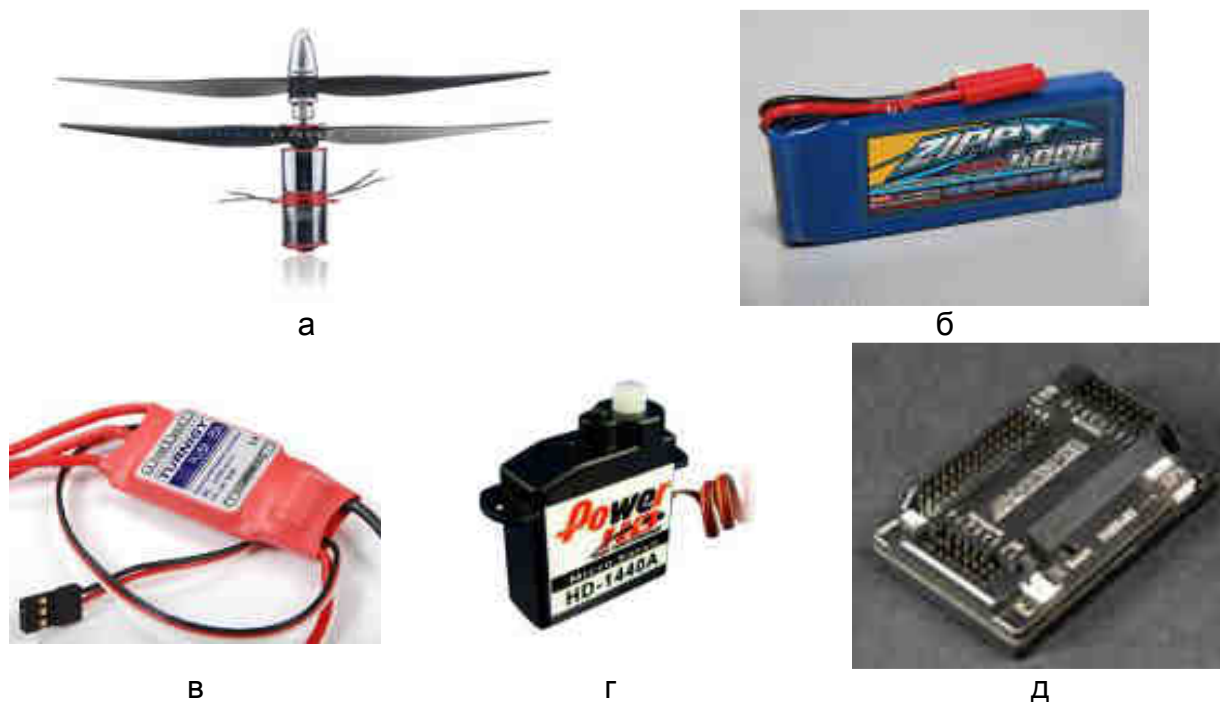


Рис. 3. Состав бортового оборудования:

Массы элементов БО использовались для расчета положения ц. м. модели. Предложено симметричное по отношению к продольной строительной оси размещение основных по массе элементов БО. На рис. 4 показано предварительное расположение оборудования в корпусе МБПЛА.

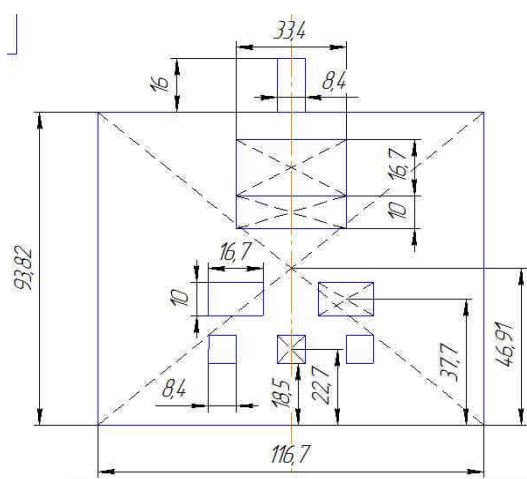


Рис. 4. Пример расположения БО в корпусе МБПЛА

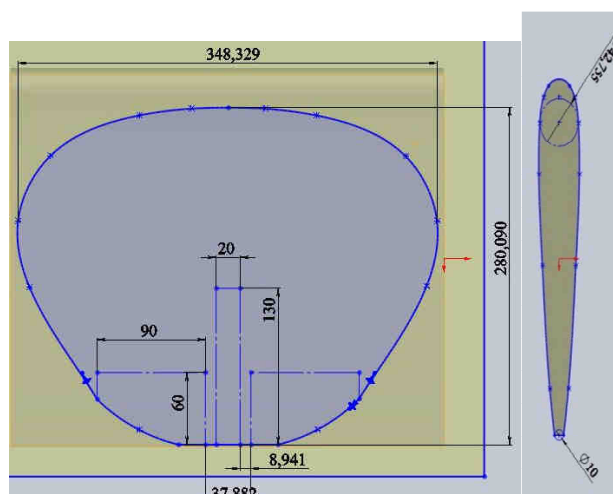


Рис. 5. Проекция модели

Расчеты проведены по стандартной методике с требованием нахождения центра масс в пределах 25...35% от значения средней аэродинамической хорды модели. В указанном диапазоне три варианта положения тягового двигателя (рис. 3, а) приводят к следующим значениям x_T при условии неизменности положения корпусного БО:

- $x_T = 95$ мм, двигатель расположен вплотную к корпусу;
- $x_T = 83$ мм, двигатель выдвинут на 30 мм вперед по полету;
- $x_T = 75$ мм, двигатель выдвинут на 111 мм вперед по полету.

Проектное размещение оборудования и размеры модели показаны на рис. 5.

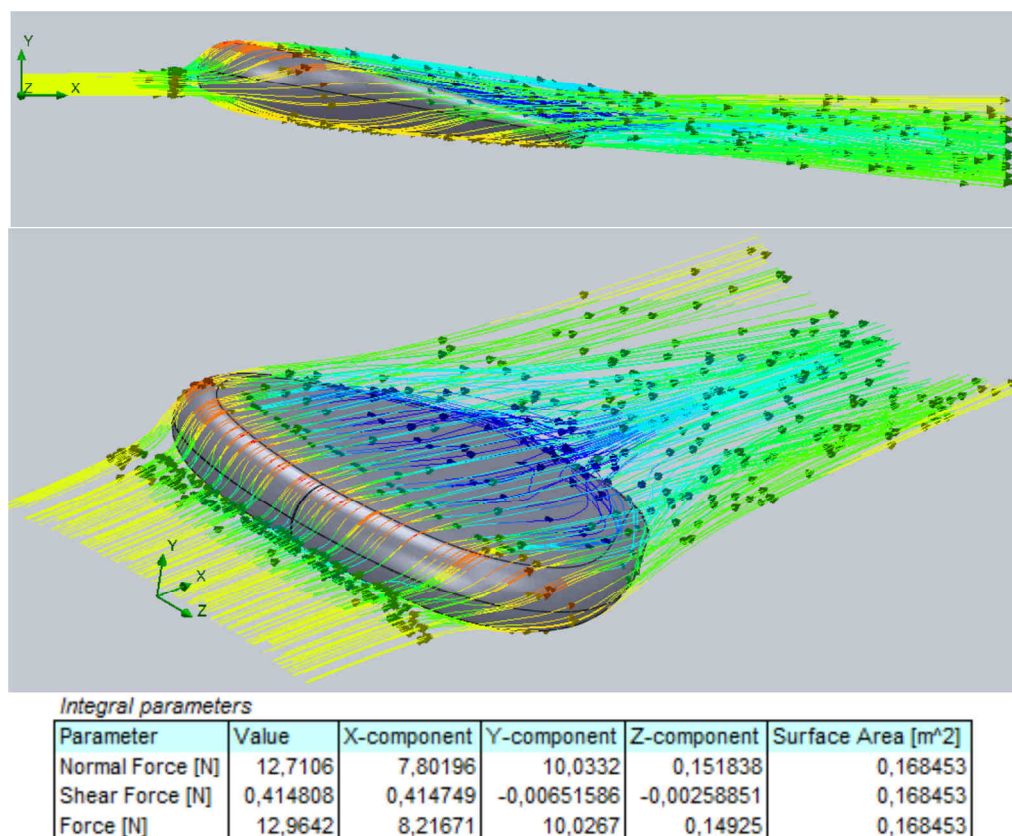


Рис. 6. Получение аэродинамических характеристик в Flow-simulation

Очередным шагом первого этапа проектирования является получение аэродинамических характеристик модели в компьютерной среде Flow-simulation для оценки адекватности работы среды теоретическим положениям, а также определения центра давления x_d или аэродинамического фокуса модели x_f . Ниже (рис. 6) показаны визуальные картинки обтекания модели воздушным потоком на скорости 50 м/с при угле атаки 10 град, в таблице представлены результаты расчетов сил и моментов, возникающих на поверхности модели.

По полученным аэродинамическим коэффициентам может быть составлена математическая модель изолированных видов движения МБПЛА. Исследование динамических особенностей модели выполнено в среде Matlab Simulink, сравнивали переходные характеристики параметров движения на различных скоростях и режимах полета, проводили оценку динамической устойчивости и управляемости.

Список литературы

1. Авіоніка безпілотних літальних апаратів [Текст] / В.П.Харченко, В.І.Чепіженко, А. А.Тунік, С. В.Павлова. – К.: ТОВ «Абрис–принт», 2012. – 464 с.
2. Основные элементы SolidWorks [Текст]: учеб. пособие. – США, 2009. – 550 с.
3. Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик [Текст] / В. М. Ильюшко, М.М. Митрахович, А.В. Самков, В.И. Силков и др.; под общ. ред. В.И. Силкова – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2009. – 304 с.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aeromav.free.fr/MAV08/enter.html>

Поступила в редакцию 09.11.2016

Про комплексний підхід до проектування малогабаритних безпілотних літальних апаратів

Запропоновано комплексний підхід до проектування і виготовлення МБПЛА на базі теоретичних знань в галузі конструювання, аеродинаміки, систем управління та програмування із застосуванням об'єктно-орієнтованих програмних засобів. Аеродинамічні властивості МБПЛА можна оцінити шляхом продувки його в аеродинамічній трубі або у віртуальному комп'ютерному середовищі систем SolidWorks або ANSYS, в яких будується і геометрія 3D моделі. Склад бортового обладнання МБПЛА визначався автономністю вирішення завдань управління польотом і резервуванням деяких елементів.

Ключові слова: проектування, моделювання, аеродинамічні характеристики, бортове обладнання, центр мас і тиску, канал і сигнал управління.

About an Integrated Approach to the Design of Small Unmanned Aerial Vehicles

A complex approach to the design and manufacture of SUAV based on the theoretical knowledge in the field of design, aerodynamics, control systems and programming using object-oriented software is proposed. SUAV's aerodynamic properties can be estimated by blowing in the wind tunnel or in a virtual computer environment SolidWorks or ANSYS systems in which 3D model geometry is constructed. The composition SUAV's onboard equipment is determined by autonomy solutions of flight control problems and some redundant elements.

Keywords: design, simulation, aerodynamics, avionics, center of mass and the pressure, channel and the control signal

Сведения об авторах:

Кочук Сергей Борисович – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. 301 «Систем управления летательными аппаратами», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.