

# Имитационное моделирование испытаний перспективного двухпрофильного фюзеляжа беспилотного летательного аппарата

Д. В. Лопаткин, email: dimkaao@yandex.ru,

С. В. Ипполитов, В. Г. Бондарев, Д. Е. Титов, М.А. Чернышов

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** В данной работе рассматривается необходимость применения и активного использования имитационного моделирования испытаний аэродинамических форм беспилотных летательных аппаратов перед их непосредственным созданием, с целью повышения устойчивости и управляемости в полете, доработки визуально неопределяемых отрицательных факторов, сказывающихся на продолжительность и качество выполнения задачи и всего полета в целом.*

***Ключевые слова:** моделирование, имитационное моделирование испытаний, имитация, испытания, беспилотный летательный аппарат, проектирование.*

## Введение

Летательные аппараты, осуществляющие выполнения поставленных задач посредством управления оператора пультом дистанционного управления приобретают все больше и больше популярность в повседневной жизни. Спектр предназначения у них огромный, начиная от съемок красивых мест с воздушного пространства, заканчивая обнаружения очагов возгорания силами МЧС и поиска пострадавших при крушении авиалайнеров, в местности которой, стандартные методы поиска бессильны или ограничены различными факторами. В каждом случае, выполняемая задача требует определенный вид летательных аппаратов, особенность которой в большинстве своем связана с аэродинамической формой, а также немало важную роль играет конструкция силовой установки и компоновки бортового оборудования беспилотного летательного аппарата.

---

© Бондарев В.Г., Ипполитов С.В., Лопаткин Д.В., Титов Д.Е., Чернышов М.А., 2022

Одним из важнейших этапов при создании беспилотного летательного аппарата служит имитационное моделирование испытаний, которое позволит, ещё на этапе проектирования понять, какими недостатками будет обладать разрабатываемая конструкция, что необходимо изменить или добавить, чтобы снизить факторы, влияющие на полет летательного аппарата. Также, используя современные технологии, можно определить насколько надежна будет электрическая схема бортового оборудования и какие компоненты стоит использовать.

Рассмотрим проведение имитационного моделирования испытаний на примере создания перспективного двухпрофильного фюзеляжа беспилотного летательного аппарата, изготовление которого было реализовано курсантским конструкторским бюро для непосредственного проведения летного эксперимента в рамках создания беспилотного авиационного комплекса, выполняющих задачи в составе нескольких летательных аппаратов. Разработанный беспилотный летательный аппарат представляет собой летательный аппарат с профилем фюзеляжа типа летающее крыло.

### **1. Моделирование испытаний**

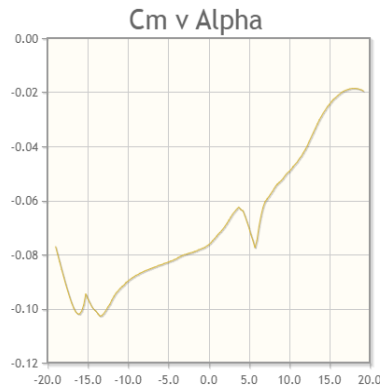
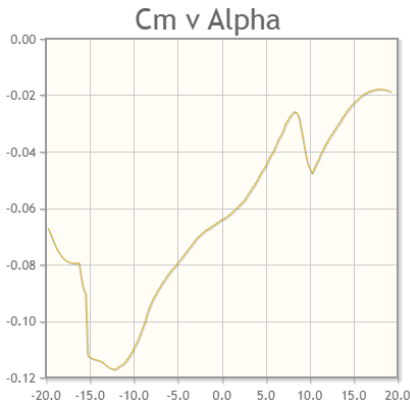
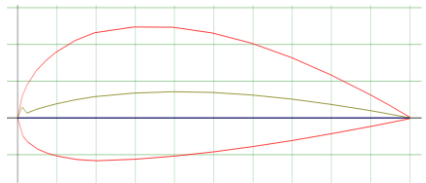
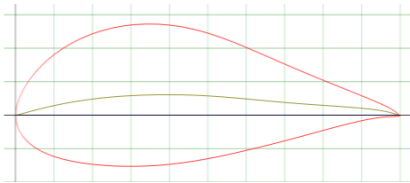
Коллективом конструкторского бюро, в процессе работы по созданию летательного аппарата была предложен и опробован оптимальный порядок имитационного моделирования испытаний перспективного двухпрофильного фюзеляжа беспилотного летательного аппарата, позволяющий производить анализ конструкции на программно-проектировочном этапе.

Для начала, необходимо выбрать, какой вид примет разрабатываемый летательный аппарат, их огромное множество на просторах интернета. В нашем случае была выбрана конструкция двухпрофильного летательного аппарата, в форме летающее крыло, так как является наиболее перспективной среди других и позволяет иметь высокую скорость при наименьших затратах электроэнергии силовой установкой за счет различных аэродинамических показателей каждого из профилей. Большой профиль способствует уменьшению скорости, в связи с увеличением сопротивления набегающему потоку воздуха, но большой вместимости и грузоподъемности в соответствии, а профиль малой величины хорды обладает минимальными потерями по скоростному параметру, однако вместимость также минимальная. Таким образом, происходит взаимодополнение и компенсация положительных и отрицательных качеств каждого из профилей. Специализацией разработанного нами беспилотного летательного аппарата является съемка местности на большом удалении, за счет быстрого перемещения

в зону необходимой съемки и парирования в её окружностях, для продолжения видео- или фотофиксации.

Затем следует этап подбора профиля крыла, который является также немало важным этапом при разработке и создании эффективного беспилотного летательного аппарата. Каждый авиационный профиль по своему уникален и обладает своими характеристиками, позволяющими специализировать летательный аппарат под выполнение конкретных задач.

Используя уже имеющийся в свободном доступе атлас профилей летательных аппаратов, необходимо выбрать наиболее визуально подходящие для определенной задачи профили. Используемые нами в подборе профиля, на роль в качестве фюзеляжа, представлены на рисунке 1, значения для графиков взяты из соответствующего атласа профилей.



а)

б)

а) А-20%; б) В-20%

*Рисунок 1 – Форма профилей с приведенными графиками зависимости аэродинамического коэффициента от значения угла атаки Alpha*

Для двухфюзеляжной аэродинамической формы крыла нами были выбраны профиль А-20% в качестве фюзеляжного, обладающий широкой хордой, а соответственно вместимостью, что позволит размещать фото- и видеоаппаратуру внутри фюзеляжа, чтобы не нарушалась обтекаемость корпуса. Проанализировав также профили, более подходящие под форму крыла выяснили, что NASA-12% обладает наибольшими показателями аэродинамического качества, присущих выполняемой задаче.

В проведении первого этапа испытаний методом полунатурного моделирования аэродинамики крыла необходимо использовать координаты каждой из точек профиля, которые также даны в атласе профилей.

Следующим шагом является использование программы xfl5, которая включает в себя следующие программы для проведения

моделирования и имитации полета модели беспилотного летательного аппарата:

Foil Direct Design программа моделирования профилей, предназначенная для загрузки файлов с заданными размерами, хранения используемых и создания формы профилей, а также их модификации и изменения.

XFoil Inverse Design программа инверсной разработки профилей, которая позволяет на основе экспериментальной модели заданного профиля, имитировать распределение давления на поверхностях верхней и нижней части профиля. В последующем позволяет модифицировать модель профиля, подгоняя под требуемые показатели контур крайних точек.

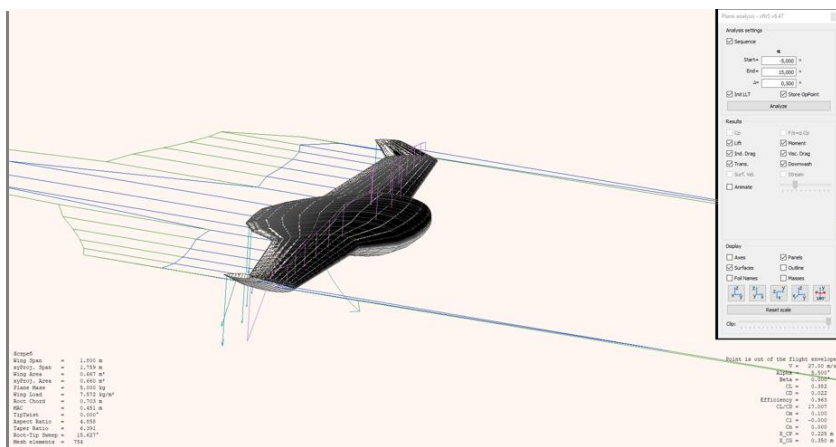
XFoil Direct Analysis программа проведения анализа профилей, предназначена для проведения имитационного полета с последующим выводом параметра аэродинамического качества профилей при различных углах атаки и числах Рейнольдса.

Wing Design программа моделирования и имитационного полета крыльев будущей формы летательного аппарата, которая позволяет на основании полученных данных от XFoil Direct Analysis проводить полный анализ летных характеристик качества модели в различных режимах полета.

Для создания профиля в программе Foil Direct Design, загружены данные с координатами точек профиля. На рабочем изображении появляется необходимый нам профиль, при необходимости мы можем корректировать местоположения всех точек, однако это не гарантирует сохранения аэродинамического показателя в определенных пределах.

Далее в программе Wing Design по примерным наброскам размеров построена конструкция крыла, чтобы увеличить количество секций управления, мы можем поделить на несколько частей большой элемент и корректировать масштабы в различных точках модели.

Следующим действием запускаем XFoil Direct Analysis для проведения анализа, созданного по заданным параметрам крыло летательного аппарата, проводим первоначальное моделирование по полученным характеристическим графикам, зависимостей подъемной силы и лобового сопротивления при различных углах атаки, а так же число Рейнольдса, которое характеризуется зависимостью инертности от вязкости среды и указывает в частности на то, что с увеличением данного числа, уменьшается сила трения оказываемая воздушным потоком на корпус беспилотного летательного аппарата. Проведение моделирования имитационного полета в качестве одного из испытаний в программно-проектировочной среде представлено на рисунке 3.



*Рисунок 3 – Моделирование испытаний виртуального полета спроектированной модели*

Разрабатываемая модель двухпрофильного беспилотного летательного аппарата предполагает отсутствие механизации крыльев, в связи с этим, отсутствует необходимость изменения положения координат конечных и начальных точек хорды профиля для определения аэродинамического качества при управлении механизацией.

В ходе работы по разработке внешней формы беспилотного летательного аппарата, были сделаны следующие выводы относительно аэродинамики профиля:

1. Чем длиннее консоль крыла, тем выше аэродинамическое качество в горизонтальном полете.
2. Чем больше коэффициент стреловидности крыла, тем больше необходимо времени для переходных режимов взлета и посадки, из самолетного в вертолетный.
3. Чем толще хорда профиля, тем меньше скоростью оно будет обладать, однако подъемная сила, оказываемая на профиль будет больше.

Произведя первичный анализ и основательно определившись с наиболее эффективными, со стороны аэродинамических качеств профилями, переходим к созданию 3D-модели, для дальнейшей реализации проведения имитационного моделирования в программном комплексе системы автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks. Программа позволяет разрабатывать и изменять визуальные изделия любой сложности и предназначения.

Для реализации такой сложной задачи, как создания необычной формы профили крыла беспилотного летательного аппарата в соответствии с заданными координатами конечных точек воспользуемся функцией инструмента «Уравнения, глобальные переменные и размеры» (рисунок 2). Такой подход к решению задачи облегчает работу тем, кто постоянно нуждается в изменениях конструкции модели, для простоты работы.

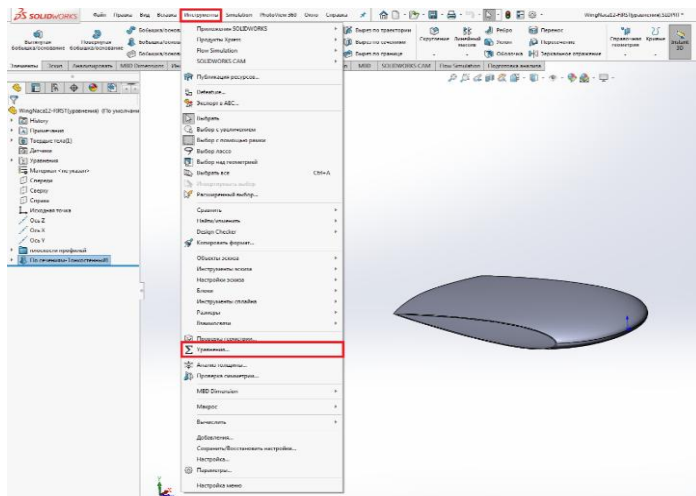


Рисунок 3 - Построение профиля крыла с использованием инструмента САПР Solidworks

Далее необходимо произвести соединение всех полученных точек с помощью уравнений в единое целое, для создания цельного профиля. В этом случае воспользуемся инструментом САПР «спайл» (кривая линия, способная соединять различные точки в пространстве).

Для того, чтобы сократить время моделирования опытного образца, а также увеличить точность симметрии, было решено использовать инструмент «Зеркальное отражение» для готовой половины двухпрофильного крыла.

Создадим методом вытягивания по сечениям соединение, которое будет демонстрировать внешний облик одно из готовых профилей. Данный этап позволит перейти к созданию одной из консолей крыла с профилем, отличным от первого, которая будет зеркально отражена для создания аналогичной консоли с противоположной стороны.

Приступим к имитационному моделированию испытания созданной 3D модели в САПР перейдя во вкладку «Flow Simulation».

Представленное диалоговое окно интуитивно позволяет выбрать необходимые для моделируемой обстановки параметры проведения испытаний: систему единиц измерения, вид задач, которые будут проведены, параметры и факторы воздействия на беспилотный летательный аппарат.

Скорость проведения исследований напрямую зависит от вычислительной способности устройства, на котором проводятся данные испытания модели и может занимать большое количество времени от нескольких минут до нескольких часов.

По завершению имитационных испытаний в разделе «Результаты» появляются визуальные отчетные материалы для поверхности модели, траектории потока, а также созданные графики зависимостей аэродинамических величин.

Каждый пункт отчета несет в себе краткое описание или по-другому справку о данной зависимости или критерии показателя.

В настоящий момент, данная двухпрофильная модель рассчитана в программном комплексе обеспечения xfl5, построена в САПР Solidworks и оценены все возможные способы применения данного беспилотного летательного аппарата, однако, отказавшись от их использования могло уйти гораздо больше сил, энергии и материалов при натуральных исследованиях, которые в конечном итоге привели бы нас к аналогичному результату.

Ключевым этапом имитационного моделирования испытаний является практическое исследование беспилотного летательного аппарата в реальных и погодных условиях, которое возможно будет произвести, только после перехода от математических и модельных экспериментов к полномасштабной работе по печати данного летательного аппарата на 3D принтере или созданием их любым другим способом, установки соответствующего бортового оборудования управления и силовой установки, с последующей его настройкой.

### **Заключение**

Таким образом, представленное описание создания беспилотного летательного аппарата силами курсантского конструкторского бюро, позволяет выполнить имитационное моделирование испытаний любым желающим своим летательным аппаратам, чтобы упростить физический труд, в том числе и для уменьшения затрат на её реализацию, а также для последующего проведения наземных и летных экспериментов с обеспечением безопасности проведения полета и устойчивой работы всего комплекса бортового оборудования, силовой установки и фюзеляжа в целом.



### Список литературы

1. DOCPLAYER – справочник авиапрофилей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docplayer.com/26270002-Spravochnik-aviacionnyh-profiley.html> (дата обращения 20.12.2022 г.).
2. Самолёты вертикального взлёта и посадки / Е.Ф. Павленко //Военное издательство Министерства обороны СССР, Москва, 1966. – С. 12 – 19.