

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Белорусская государственная академия авиации»

Военный факультет

Кафедра беспилотных авиационных комплексов и боевого управления

Международный конкурс научных курсантских работ

«Молодая наука академии 2021»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОМОТОРНОЙ ГРУППЫ
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА**

Фомин Евгений Владиславович,
курсант военного факультета в
УО «БГАА», 1-37 04 03-01 01
«Техническая эксплуатация
беспилотных авиационных комплексов»,
5 курс, форма обучения – очная;
уч.группа БАК-116

РУКОВОДИТЕЛЬ
Подполковник Тюпин Роман
Леонидович, старший преподаватель
цикла технической эксплуатации
беспилотных авиационных комплексов
кафедры беспилотных авиационных
комплексов и боевого управления
военного факультета в УО «БГАА

Минск 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. Изучение влияния воздушного потока на движение твёрдых тел	6
2. Изучение параметров воздушного винта.....	7
3. Автоматизация исследований воздушного потока.....	9
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БЛА – Беспилотный летательный аппарат

ВМГ – Винтомоторная группа

ИС– испытательный стенд

КПД – Коэффициент полезного действия

ПО – Программное обеспечение

ЧПУ – Числовое программное управление

АКБ – Аккумуляторная батарея

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность современного БЛА зависят от того, насколько правильно подобрана его винтомоторная группа (ВМГ). Другими словами, для определенной задачи должны быть правильно выбраны тип двигателя, диаметр и шаг винта, а также источник питания (которым является, как правило, аккумуляторная батарея со свойственными ей параметрами - напряжением, энергоемкостью и предельным током). В ведущих странах-производителях БЛА применяются стенды для подбора винтомоторной группы. На базе Белорусской Государственной Академии Авиации создан стенд проверки и подбора винтомоторной группы для БЛА, в зависимости от решаемых им задач.

Наиболее известные иностранные бренды - Turnigy, Tyto Robotics и др. (Рисунок 1, 2).



Рисунок 1– Стенд от компании Turnigy



Рисунок – 2. Стенд от компании Tyto Robotics и вид экрана при испытаниях ВМГ

Однако во всех существующих испытательных стендах не заложена возможность проведения динамических испытаний ВМГ с целью

определения их инерционных свойств (реакции на ступенчатое изменение частоты или напряжения, ветровых возмущений и т.д.). Результаты таких испытаний могли бы позволить производить предварительную настройку ПИД-коэффициентов для контуров управления, в которые включаются ВМГ на борту БПЛА. Для обработки измерительной информации более удобным и универсальным было бы программное обеспечение с открытым исходным кодом и возможностью доработок пользователем, которым является продукт National Instruments LabView.

Указанные недостатки привели к необходимости разработать собственный «отечественный» автоматизированный испытательный стенд ВМГ БПЛА.

Результатом выполненной работы, стал разработанный отечественный стенд ВМГ БПЛА. (Рисунок 3)



Рисунок 3 – Разработанный стенд ВМГ БПЛА

1. Изучение влияния воздушного потока на движение твёрдых тел

Аэродинамика – это наука о законах движения воздушной (газовой) среды и силового взаимодействия этой среды с граничными поверхностями. Граничные поверхности разделяются на:

- внешние – поверхности тел, обтекаемые потоком;
- внутренние – газ движется внутри различных каналов.

При малых скоростях полета воздух принимается как несжимаемая среда. Но с ростом скорости полета (на трансзвуковых и сверхзвуковых скоростях) необходимо учитывать свойство сжимаемости среды. При полетах на небольших высотах воздушную среду принимают сплошной. Но при полете на больших высотах, где плотность воздуха очень мала, необходимо уже применять другие зависимости, которые должны учитывать несплошность среды.

Основные параметры среды:

- $g=9,81$ – ускорение свободного падения (м/с^2);
- $V \cdot m \cdot \rho =$ (плотность) – это масса газа (жидкости) заключенная в единице объема (кг/м^3), для воздуха $\rho=1,225$;
- $\gamma = \rho \cdot g$ (удельный вес) - это вес газа (жидкости) заключенная в единице объема (Н/м^3);
- массовые силы – силы, действующие на каждый элемент среды (сила тяжести, сила инерции);
- поверхностные силы – силы, действующие на поверхности S со стороны окружающей среды (трение, давление);
- силы трения – силы, действующие по касательной к поверхности (Н/м^2);
- силы давления – силы, действующие перпендикулярно поверхности (Н/м^2).

Основные свойства среды:

- Вязкость – способность сопротивляться деформации сдвига.
- Идеальная среда – среда, в которой отсутствуют вязкость.
- Сжимаемость – способность среды изменять свой объем (плотность) при изменении давления и температуры.
- Скорость звука – скорость распространения звука в газовой среде

2. Изучение параметров воздушного винта

Воздушные винты применяются либо для создания тяги (винт самолета), либо для получения одновременно подъемной силы и тяги (несущий винт вертолета). Основные геометрические характеристики винта являются:

- $D = 2R$ – диаметр винта;
- k – число лопастей;
- ϕ – угол установки лопастей, т.е. угол между хордой сечения и плоскостью вращения винта
- $r = \frac{r}{R}$ относительный радиус сечения.

Форма лопасти характеризуется изменением вдоль лопасти:

- $b = \frac{b}{R}$ – относительная ширина;
- $c = \frac{c}{b}$ – относительная толщина;
- $\Phi_{кр} = \phi(r)$ – крутки лопасти;
- форма профиля в каждом сечении.

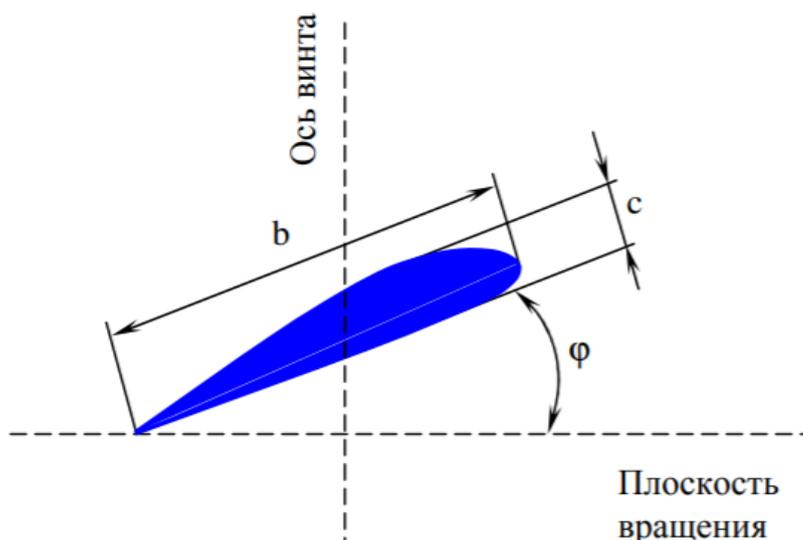


Рисунок 5 – Геометрические характеристики лопасти

Под углом установки винта ϕ^* обычно принимают угол установки в характерном сечении лопасти (обычно при $r = 7,0 / 8,0$). Под круткой лопасти тогда подразумевают зависимость:

$$\phi_{кр} = \phi(r) - \phi^*$$

т.е. определяют закрученность относительно характерного сечения.

Аэродинамические характеристики винта будут зависеть от режима его работы, характеризующегося величиной λ . Если аэродинамические характеристики крыла заданной формы зависят только от угла атаки α , то аэродинамические характеристики воздушного винта будут зависеть от угла установки ϕ и коэффициента скорости λ . Обычно в расчетах используют безразмерные величины тяги и мощности:

$$\bar{\alpha} = \frac{P}{\rho \cdot D^4 \cdot n_c^2};$$

коэффициент тяги

$$\bar{\beta} = \frac{75 \cdot N}{\rho \cdot D^5 \cdot n_c^3};$$

коэффициент мощности

$$\eta = \frac{\bar{\alpha}}{\bar{\beta}} \cdot \lambda.$$

коэффициент полезного действия

Полные характеристики винта получают путем испытания его в аэродинамической трубе.

3. Автоматизация исследований воздушного потока

Для более точного изучения параметров воздушного винта, и для виртуального построения движений воздушных потоков, оказывающих влияние на этот винт, необходимо программное обеспечение (ПО) с открытым исходным кодом и возможностью доработок пользователем. Одним из таких ПО является продукт SOLIDWORKS 2020.

SolidWorks — программный комплекс для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Работает в среде Microsoft Windows. Разработан компанией SolidWorks Corporation, созданной с нуля Джоном Хирштиком, а с 1997 года являющейся независимым подразделением компании Dassault Systemes (Франция).

Программу начали разрабатывать в 1993 году, она начала продаваться в 1995 и составила конкуренцию таким продуктам, как AutoCAD и Autodesk

Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS, Компас и Pro/ENGINEER. Система SolidWorks стала первой САПР, поддерживающей твердотельное моделирование для платформы Windows. SolidWorks использует ядро Parasolid.

Как и большинство людей, многие инженеры и ученые решают поставленные перед собой задачи, оперируя образами или символами. Подобный подход развивается в процессе обучения и применения соответствующих инструментов обработки информации – различных схем и диаграмм.

SolidWorks позволяет построить объёмную модель любого механизма или детали необходимой для конструирования беспилотного летательного аппарата. Поэтому данная программа идеально подходит для построения и исследования винта для будущего БЛА. Данная программа отличается от своих конкурентов относительной простотой в работе и высокой точностью построенных моделей.

Порядок работы при построении виртуальной модели:

- Строим осевые линии и рассчитываем основные параметры винта (Рисунок 6)

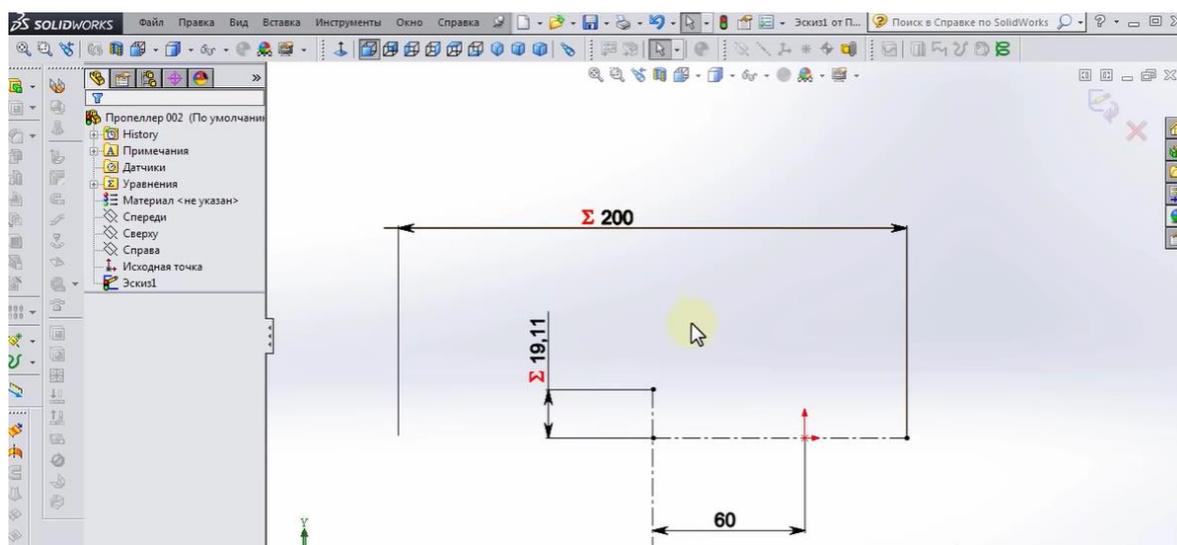


Рисунок 6 – Осевые линии с основными параметрами

- Строим дополнительные осевые линии и производим их выравнивание (Рисунок 7)

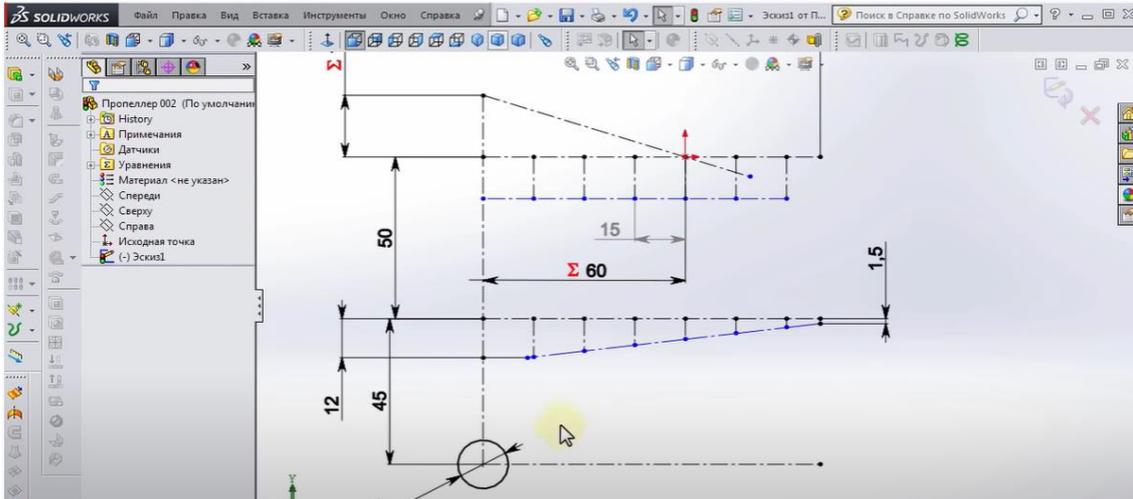


Рисунок 7 – Дополнительные осевые линии с выравнением

- Строим один из профилей винта (Рисунок 8)

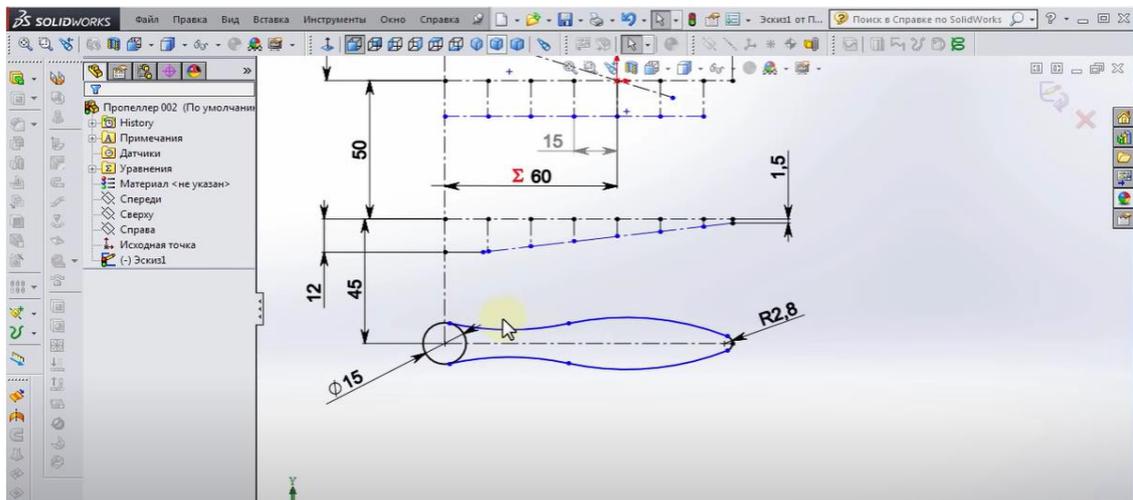


Рисунок 8 – Построение профиля винта

- Переносим ранее построенные осевые линии на плоскость винта (Рисунок 9)

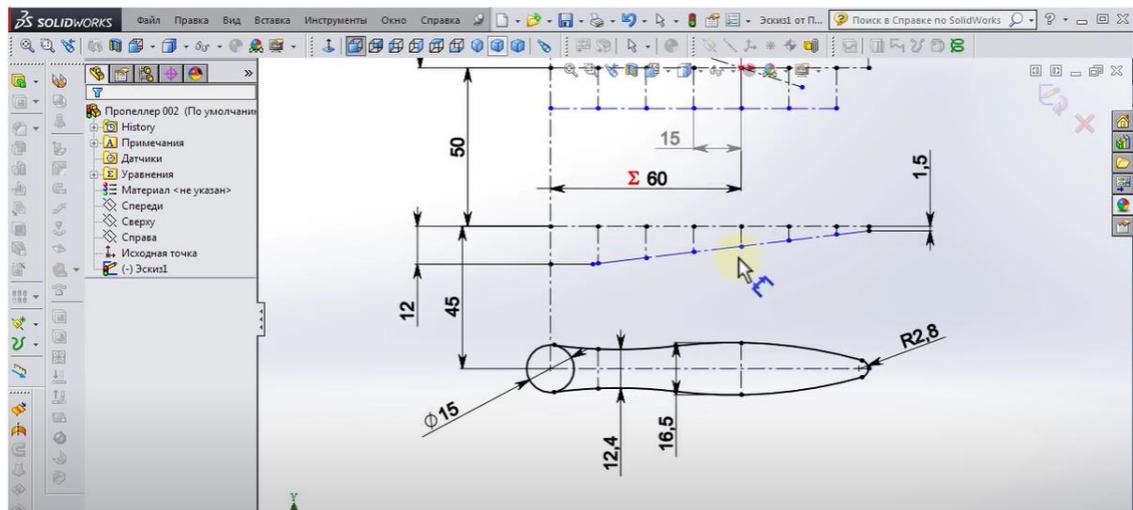


Рисунок 9 – Перенос осевых линий на плоскость винта

- Переносим полученный эскиз в формат «3D-эскиз» с последующим построением объёмных сечений винта (Рисунок 10)

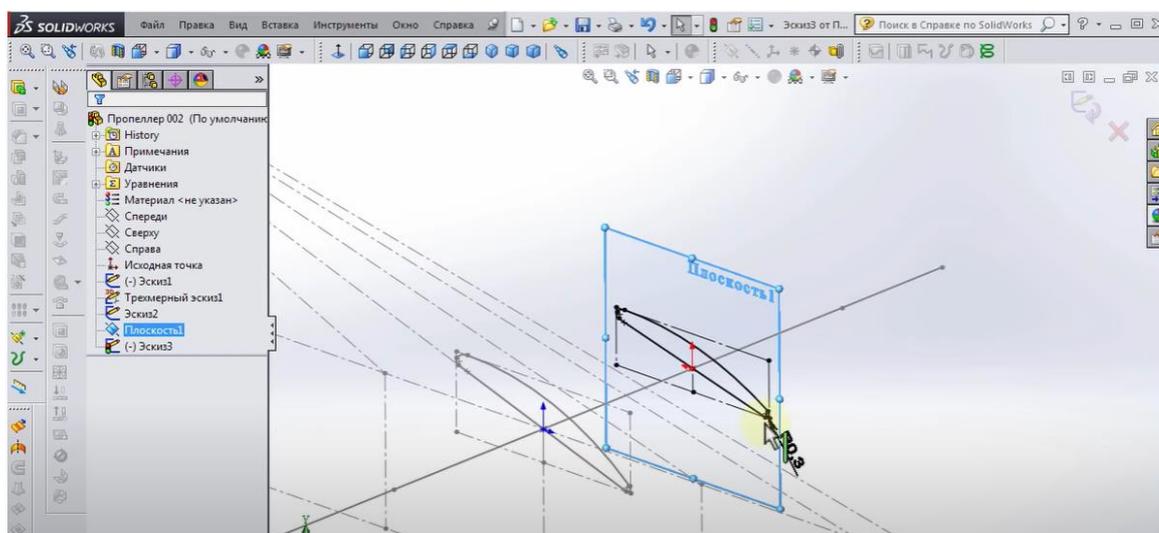


Рисунок 10 – Перенос эскиза в «3D-эскиз»

- Построение сечений винта (Рисунок 11)

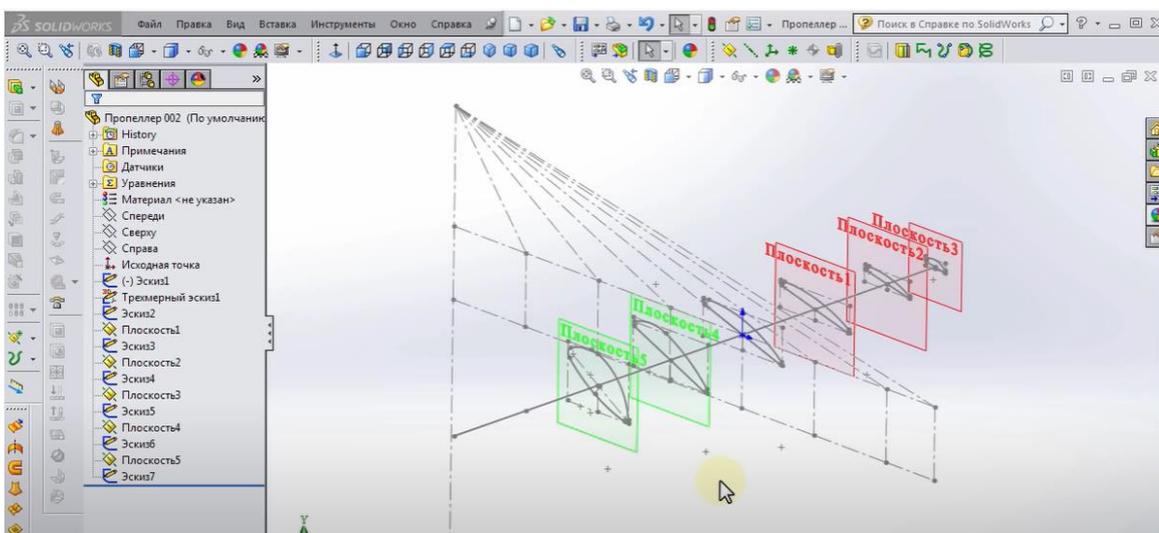


Рисунок 11 – Построение сечений винта

- Накладываем текстуру на полученные сечения (Рисунок 12)

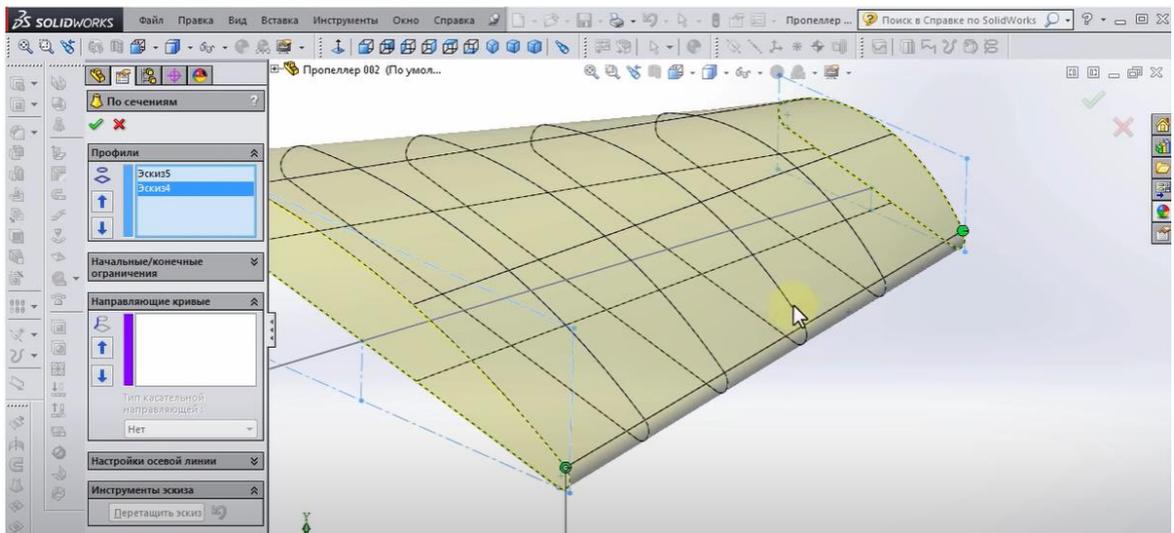


Рисунок 12 – Построение текстур

- Производим копирование и отзеркаливание полученного эскиза (Рисунок 13)

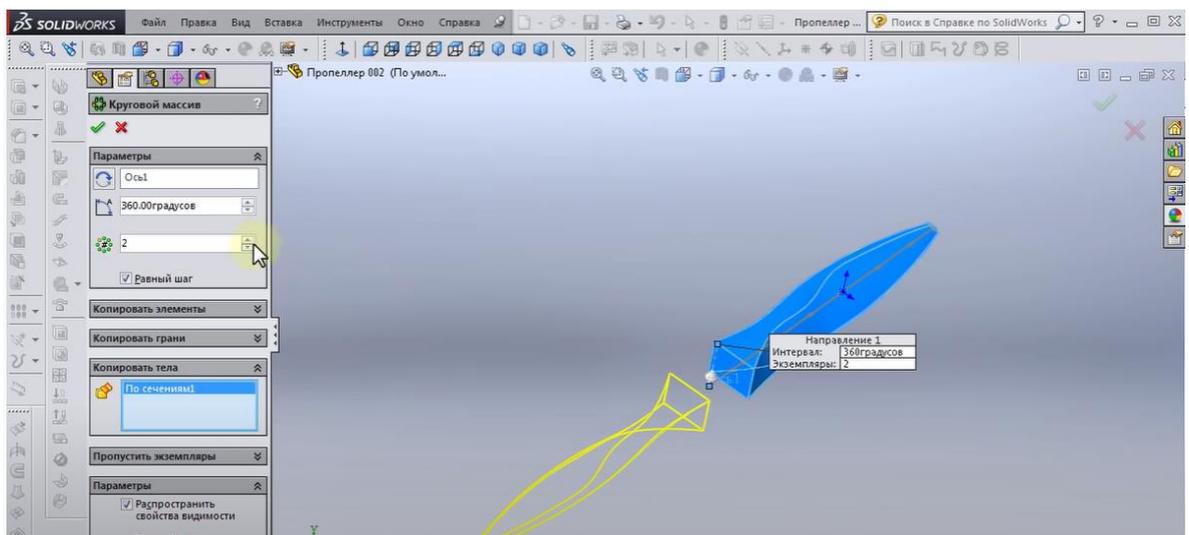


Рисунок 13 – Отзеркаливание полученного эскиза

- Соединение полученных профилей и построение центральной прорези (Рисунок 14)

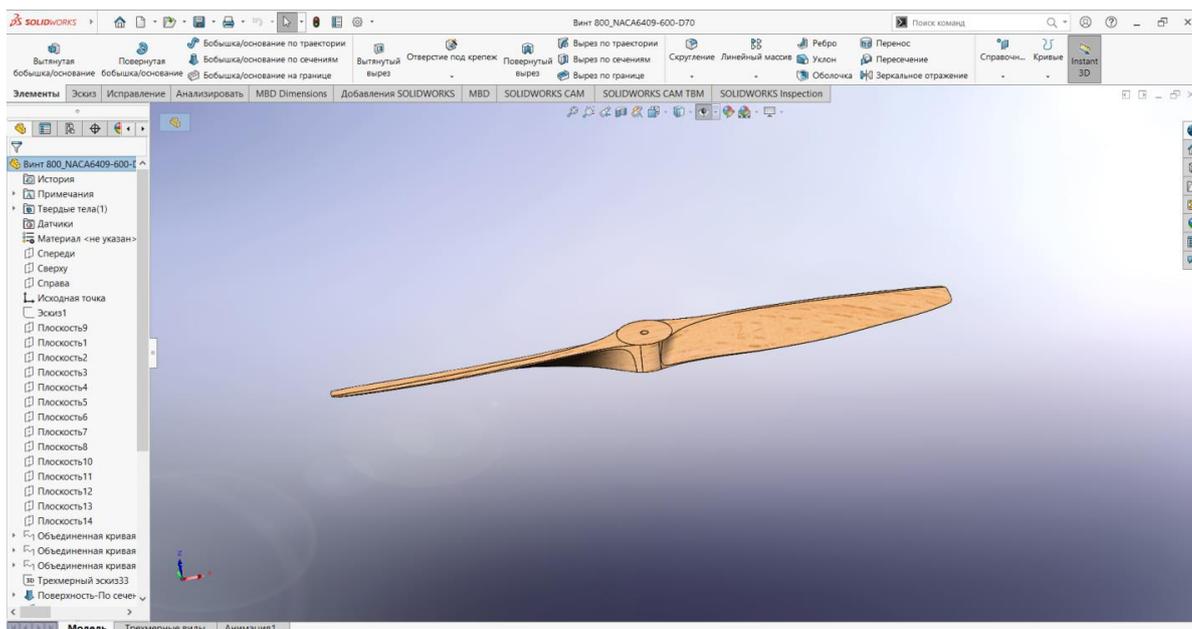


Рисунок 14 – Рабочее поле с готовой моделью

Таким образом материальные, временные и физические затраты на построение виртуальной модели винта данным образом гораздо меньше чем проведение его полного 3D-сканирования, что позволит производить построения и расчёты параметров винта имея при себе ПК и соответствующее программное обеспечение.

Теперь готовую модель можно применить для виртуального обдува в аэродинамической трубе. Для этого будет использована программа ANSYS.

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов (САПР, или CAE) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование — изготовление — испытание». Система работает на основе геометрического ядра Parasolid. Программная система КЭ анализа ANSYS разрабатывается американской компанией Ansys inc. Поскольку обе эти программы разработаны на одном ядре, то это позволяет переносить готовые чертежи из одной программы в другую без каких либо изменений и переформатирований. Данная программа позволит произвести виртуальную обдувку полученного винта в аэродинамической трубе и исследовать изменения характеристик ВМГ при изменении параметров воздушного потока.

После загрузки полученной модели винта в программу ANSYS были заданы основные параметры винта, скорость набегающего потока воздуха и средние обороты на которых работает винт данной модели (Рисунок 15).

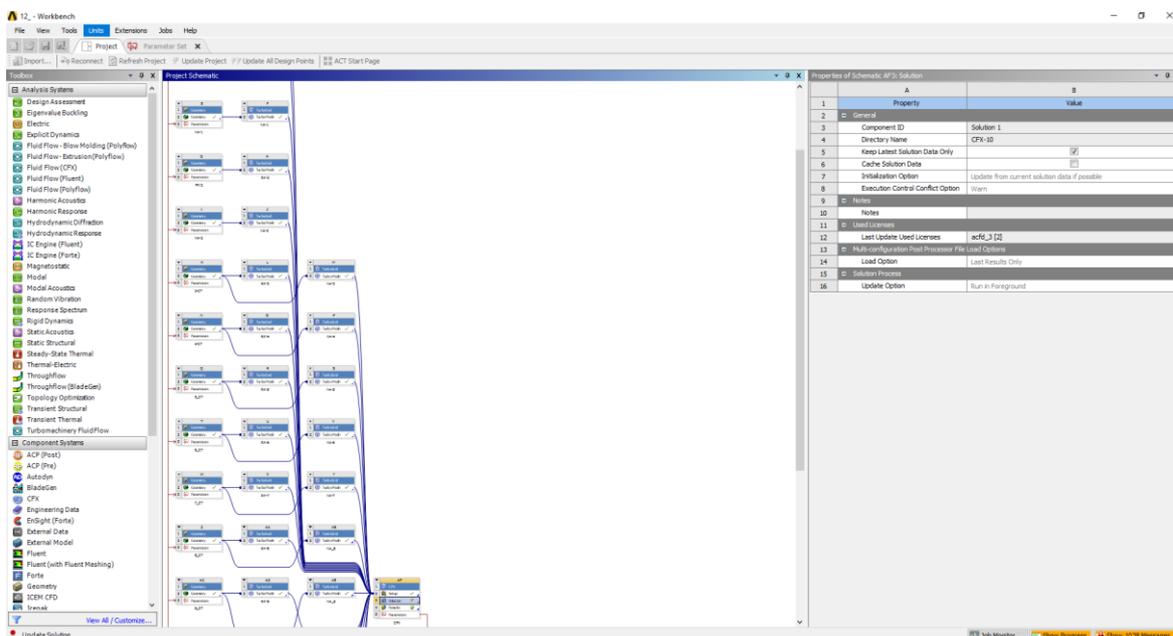


Рисунок 15 – Указание основных параметров винта и последовательности проводимых измерений.

После этого программа переводила модель винта в необходимый формат для работы и самостоятельно рассчитывала давление, которое испытывает винт в различных его точках (Рисунок 16).

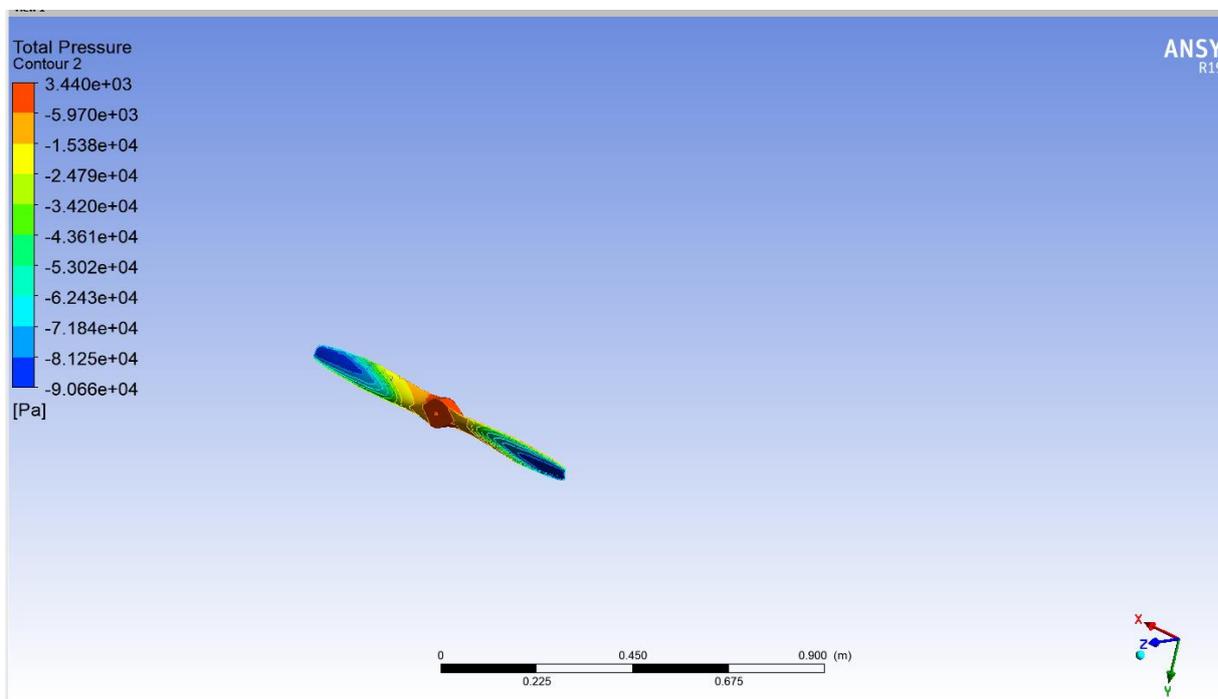


Рисунок 16 – Модель, с указанием степени давления.

Далее программа визуализирует проходимые потоки воздуха через винт с указанием скорости данных потоков и их направления (Рисунок 17).

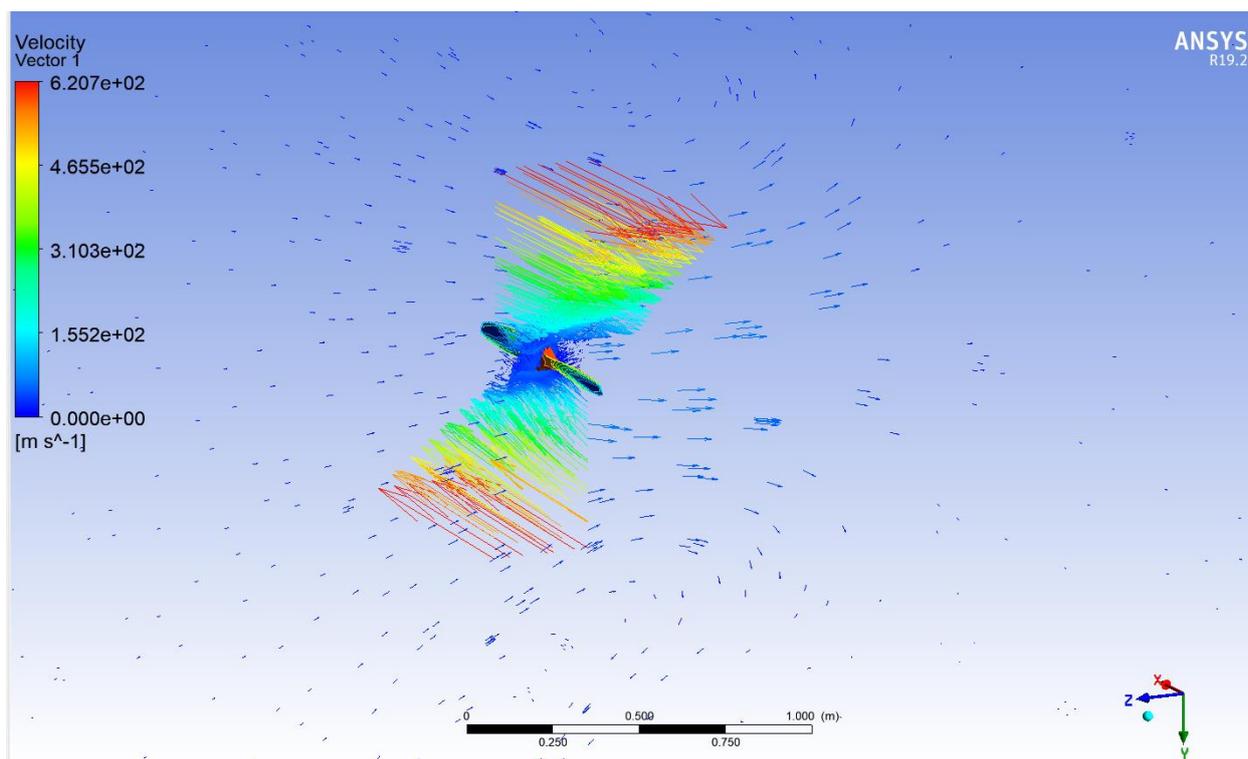


Рисунок 16 – Направления движения воздушных потоков.

С помощью данной программы можно заметить, что данный винт создаёт перед собой поле разряженного воздуха, а после себя создаёт зону с повышенным давлением (Рисунок 17)

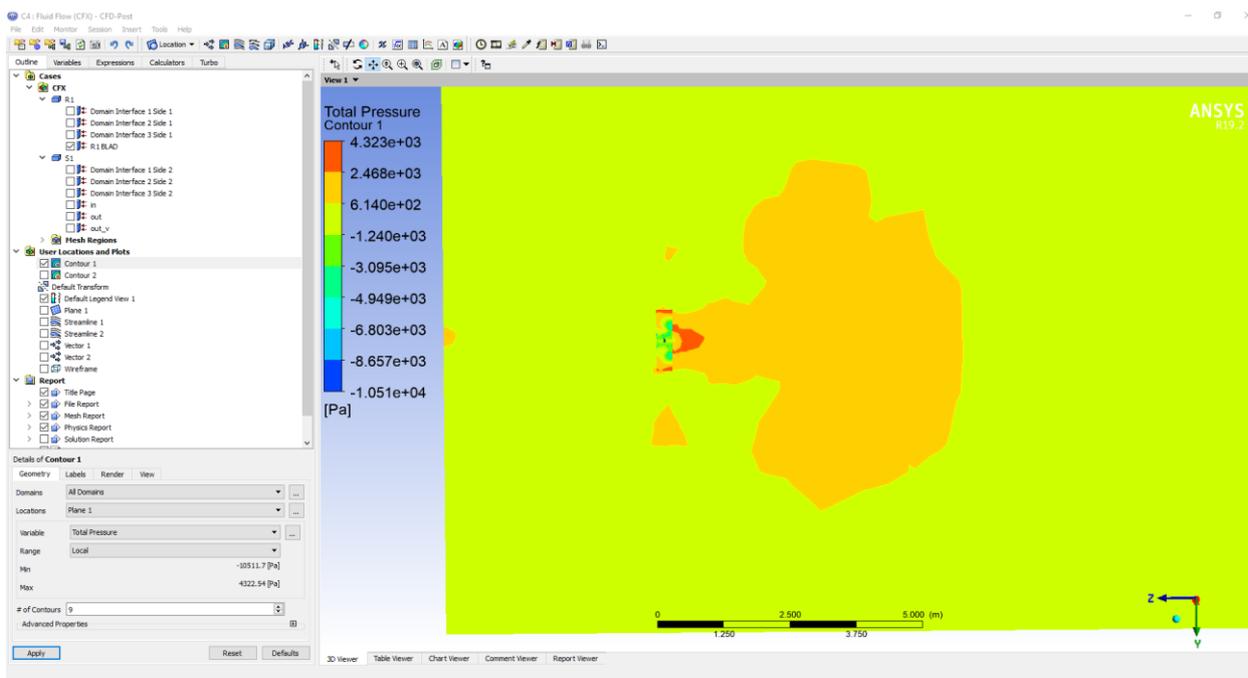


Рисунок 17 – Давление, создаваемое воздушным винтом.

Как можно заметить на данной иллюстрации, через 2-3 метра за винтом, потоки воздуха закручиваются в обе стороны, что и создаёт подъёмную или толкающую силу для БЛА (в зависимости от назначения винта).

Однако, при увеличении оборотов винта сверх его максимального значения, программа показывает, что во все стороны от плоскостей винта происходят завихрения воздушных потоков и так называемые «срывы потоков» (Рисунок 18).

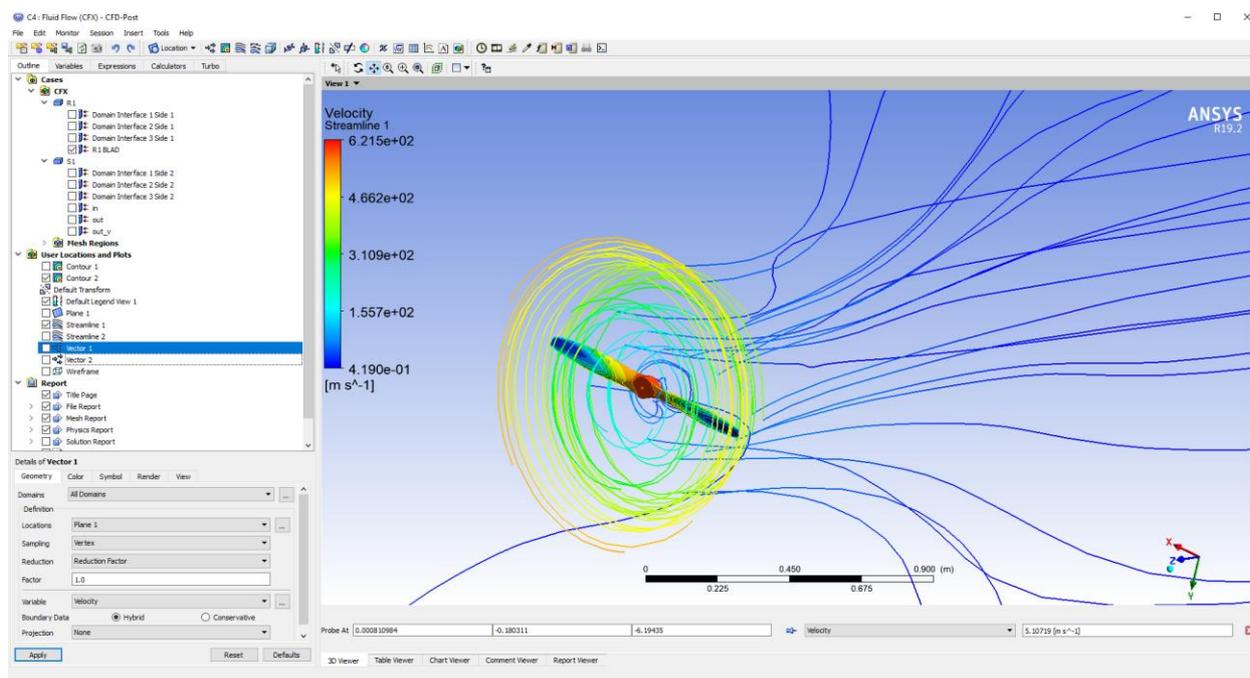


Рисунок 18 – Срыв потока с плоскости винта.

Вращение винта на высоких оборотах может привести к нарушению аэродинамических характеристик БЛА, а в дальнейшем – к нарушению целостности винта и к падению самого планера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведённой работы были исследованы основные физические явления, действующие на воздушный винт, выбран оптимальный программный продукт для проведения проверок и исследований воздушных винтов для дальнейшей их установки на БЛА. В результате была сформирована последовательность выполнения работ по исследованию винта на предмет недоработок и недостатков в конструкции. В ближайшее время будет разработана и применена методика работы с ВМГ, которая в последующем сможет применяться в воинских частях и на заводах-производителях БАК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теория, расчёты и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник/ В.И. Бакулев, В.А. Голубев; Под редакцией В.А. Сосунова, В.М. Чепкина: Изд-во МАИ, 2003.
2. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов. – Москва: Транспорт, 1990. - 392 с.
3. Аэродинамика и динамика полета транспортных летательных аппаратов. Кн. 1. Аэродинамика / под ред. В.Е. Касторского. - Рига: РКИИГА, 1968. – 457 с.
4. Airframe, Volume 1: Structures. Third Edition / Aviation Maintenance Technician Series – Newcastle, Washington: Aviation Supplies & Academics, Inc. – 2006, 490 p.