

ОКБ СУХОГО
БПЛА Sagittarius

Оглавление

Оглавление.....	1
1. Перечень сокращений и терминов	3
2. Описание проекта.....	4
2.1. Цель проекта.....	4
2.2. Преимущества БПЛА	4
3. Анализ рынка.....	6
3.1. Сравнение методов грузоперевозки.....	6
3.2. Сравнение прототипов	7
4. Список требований к системе	9
5. Описание АК.....	10
5.1. Состав АК и причастных людей.....	10
5.2. Взаимодействие элементов АК	11
6. Расчеты ЛА	12
5.1. Создание весовой сводки	12
5.2. Расчет винто-моторной группы.....	12
5.3. Расчет проектных параметров	13
5.4. Расчет геометрических параметров	14
5.5. Создание центровочной ведомости	15
5.6. Анализ аэродинамических параметров	16
6.1. Расчет аэродинамических характеристик в ANSYS	18
7. Построение электронного макета.....	20

7.1. Общий вид изделия.....	20
7.2. Эксплуатационное членение.....	23
8. Технологическая документация	25
8.1. Технология изготовления БПЛА.....	25
8.2. Описание технологического процесса сборки.....	26
9. Расчёт экономической модели проекта	1

1. Перечень сокращений и терминов

- АК – авиационный комплекс;
- НПУ – наземный пункт управления;
- ЛА – летательный аппарат;
- БПЛА – беспилотный ЛА;
- АДХ – Аэродинамические характеристики
- ОЭС

2. Описание проекта

2.1. Цель проекта

Цель проекта заключается в разработке компактного беспилотного летательного аппарата, способного эффективно доставлять медикаменты в труднодоступные и отдаленные регионы. Данный БПЛА позволит значительно сократить время доставки жизненно важных лекарств в экстренных ситуациях и в условиях ограниченного доступа. Кроме того, проект направлен на улучшение доступности медицинских услуг для жителей удаленных территорий, обеспечивая их необходимыми препаратами и материалами.

2.2. Преимущества БПЛА

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся всё более популярными благодаря своим многочисленным преимуществам, которые делают их незаменимыми в различных сферах деятельности. Одним из самых значимых плюсов является лёгкость в обслуживании. Современные БПЛА разработаны с учётом простоты эксплуатации, что позволяет сократить время на обучение операторов и минимизировать затраты на техническое обслуживание. Кроме того, использование БПЛА способствует уменьшению воздействия на ресурсы планеты. Они потребляют значительно меньше топлива по сравнению с традиционными транспортными средствами, что делает их экологически чистым решением.

Одной из ключевых функций БПЛА является их способность к оперативной доставке необходимого оборудования в зоны чрезвычайных ситуаций, что крайне важно в случаях, когда каждая секунда на счету.

В настоящее время рынок БПЛА обладает небольшой конкурентностью, что предоставляет возможности для новых игроков и инновационных

решений. Это создает простор для творческого подхода и внедрения оригинальных технологий.

Также, БПЛА предлагают возможность использования различных конфигураций целевой нагрузки, что расширяет их сферу применения. Это может быть, как доставка медикаментов и продовольствия, так и мониторинг экологической ситуации или проведение инспекций инфраструктуры. Гибкость в настройках БПЛА обеспечивает их универсальность и возможность адаптации под конкретные задачи.

Таким образом, беспилотные летательные аппараты представляют собой многофункциональное и эффективное решение для сегодняшних вызовов, сочетая лёгкость в обслуживании, низкое воздействие на окружающую среду, быстрое реагирование на чрезвычайные ситуации, а также широкий спектр применения.

3. Анализ рынка

3.1. Сравнение методов грузоперевозки

Грузоперевозка на различных видах транспорта имеет свои недостатки. Вот несколько из них:

1. Автомобильный транспорт:

- Зависимость от дорожной инфраструктуры: Качество дорог и наличие пробок могут значительно увеличить время доставки.
- Необходимость в дозаправке во время пути.
- Высокий уровень выбросов CO₂ и загрязнение окружающей среды.

2. Железнодорожный транспорт:

- Неподвижность маршрутов: Поезда следуют строго определенным маршрутам, что может ограничить гибкость доставки и потребовать дополнительных затрат на подвозку грузов к станции.
- Ограниченная скорость: Средняя скорость 10 км/ч, также процессы погрузки и разгрузки требуют времени.
- Аварийные ситуации: Возможные задержки из-за технических неполадок или серьезных инцидентов на путях.

3. Крупный авиационный транспорт:

- Высокая стоимость: Доставка грузов по воздуху значительно дороже, чем другими видами транспорта, что делает ее менее доступной.
- Зависимость от инфраструктуры: отсутствие взлётно-посадочных полос, ангаров и квалифицированного персонала.
- Чувствительность к погодным условиям: Неблагоприятные погодные условия могут вызывать задержки и отмены рейсов.

4. Речной транспорт:

- Долгое время доставки: Перевозка грузов занимает много времени, что может быть критично для срочных грузов.

- Зависимость от портовой инфраструктуры: Задержки в портах из-за плохих погодных условий или перегрузки могут значительно увеличить общее время доставки.

- Риски повреждения грузов: Грузы могут подвергаться воздействию влаги, соли и других факторов, что может приводить к их повреждению.

Таблица 1 - Сравнение методов перевозок.

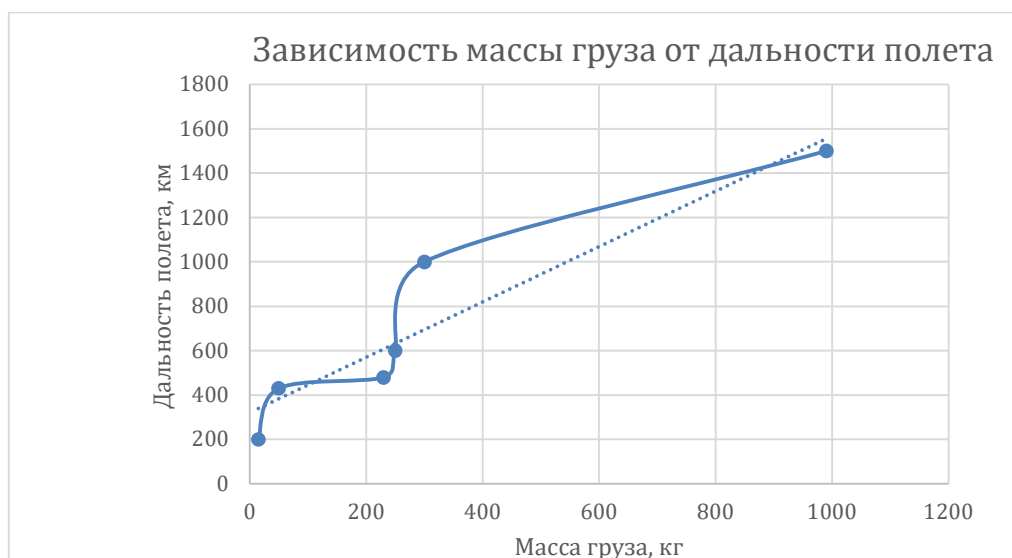
Удовлетворение условиям быстрой доставки грузов на малые расстояния					
Тип	Ж/д	Автомобильный	Речной	Авиационный	Малый БПЛА Sagittarius
средняя дальность, км	1121	20	325	2031	30
средняя скорость, км/ч	10	17	6	450	100
Срок доставки груза, сут	6,5	0,06	4,3	0,3	0,02
Средняя масса груза, кг	120000	700	15000	48000	0,5
Требуемая инфраструктура	Ж/д пути	Автодороги в приемлемом состоянии	Судоходная река	ВПП, ангары и персонал	Зарядка, мобильный НПУ

В настоящее время при доставки малогабаритных и срочных грузов, мы сталкиваемся с такими основными проблемами как, скорость доставки или нецелесообразность запуска крупного транспорта.

3.2. Сравнение прототипов

Таблица 2 - Сравнение прототипов.

название	АН-2	БТС ВАБ	ТрАМП	Elroy Air	БАС-200	TFM-15
масса груза, кг	990	300	250	230	50	15
дальность, км	1500	1000	600	480	430	200



Проанализировав рынок, мы пришли к выводу, что существующие авиационные прототипы нецелесообразно отправлять на небольшие расстояния для доставки медикаментов экстренной помощи. Обслуживание крупного авиационного транспорта является очень дорогим, а также в отдаленных регионах тяжело осуществить посадку, по причине малоразвитой инфраструктуры. В связи с этим нами было принято решение разработать БПЛА с дальностью полёта 30 км, крейсерской скоростью до 100 км/ч и возможностью вертикального взлета и посадки. Наш проект не только заполнит имеющийся рыночный пробел, но и сделает значительный вклад в развитие здравоохранения и экстренной помощи в удаленных регионах.

4. Список требований к системе

1. Дальность доставки: БПЛА должен иметь возможность совершать полеты на расстоянии до 15 км от стартовой площадки.
2. Время полета: БПЛА должен быть способен поддерживать полет не менее 30 минут, чтобы обеспечить выполнение задачи по доставке груза с учетом потенциальных задержек, отклонений от маршрута и времени на маневрирование при посадке.
3. Подготовка площадок: Обеспечение обслуживания на площадках с минимальной подготовкой.
4. Посадка на неподготовленные площадки: Обеспечение доставки груза (приземления) на неподготовленные площадки. Возможность точно и безопасно осуществлять посадку на поверхности с различными типами покрытия (травяные, земляные, бетонные и т.д.).
5. Обеспечение эксплуатации оператором с минимальным образованием: Система управления БПЛА должна быть интуитивно понятной, с простым интерфейсом и минимальными требованиями к обучению. Оператор должен иметь возможность быстро освоить управление БПЛА.
6. Автономный полет: БПЛА должен быть оснащен системой автопилота, позволяющей ему совершать полет без непосредственного управления со стороны оператора. Это включает в себя заранее загруженные маршруты, возможность изменения маршрута в режиме реального времени и возврата на базу в случае возникновения непредвиденных обстоятельств (разряд батареи, потеря сигнала).

Данные требования помогут обеспечить эффективную и безопасную эксплуатацию системы малого БПЛА для доставки грузов в различных условиях.

5. Описание АК

5.1. Состав АК и причастных людей

В состав авиационного комплекса Sagittarius:

- Оператор

Выполняет обслуживание и загрузку полезной нагрузки в БПЛА на базе, настраивает и запускает миссию на доставку, а также контролирует ход её выполнения, имеет связь с каналом экстренных служб для получения информации о необходимости доставки.

- НПУ

Обеспечивает связь между оператором и роем БПЛА, управление роем.

- БПЛА (предполагается размещение нескольких единиц на одной базе)

Заряжается от НПУ, груз загружается вручную оператором, получает миссию от НПУ и автономно летит в точку назначения.

С АК взаимодействуют:

- Оператор экстренных служб (ОЭС) – передает данные о необходимости доставки, состав запрашиваемой доставки и точку назначения;
- Получатель – пострадавший или иной человек, кому потребовалась срочная доставка посылки от экстренных служб. Сообщает ОЭС свое местоположение и описывает ситуацию, извлекает груз из БПЛА в точке приземления.

5.2. Взаимодействие элементов АК



Рис.11 - Схема работы оператора

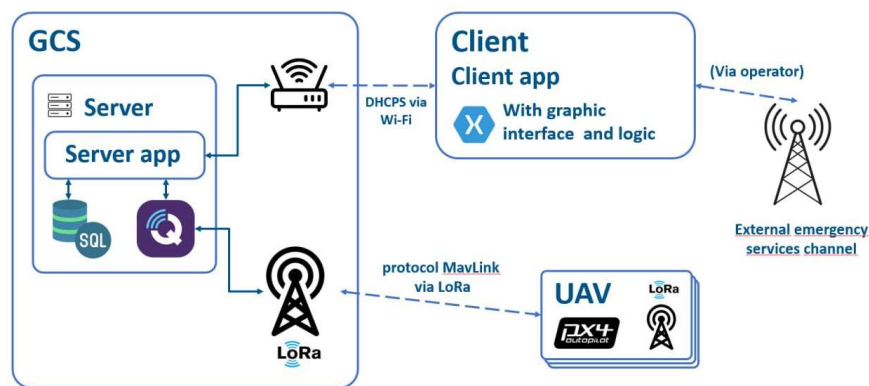


Рис.12 - Схема архитектуры взаимодействия

Предполагаемый сценарий эксплуатации:

- НПУ расположен на базе экстренных служб;
- На базе присутствует один оператор АК;
- К одной базе присвоены несколько БПЛА;
- Оператор БПЛА получает информацию о необходимости доставки от ОЭС и подготавливает БПЛА к полету, после чего отправляет в полет;
- БПЛА автономно летит до точки назначения и приземляется;
- Заказчик получает свой заказ;
- Дрон автономно возвращается на базу;
- Оператор заряжает БПЛА на базе.

Программная реализация описана и загружена на гит.

6. Расчеты ЛА

6.1. Создание весовой сводки

Таблица 3 - Весовая сводка в формате Excel

Массы		На макет
Моторы	67,2	67,2
Полетный контроллер	100	50
Силовые элементы	200	200
Консоли	100	250
Pi 4	120	120
ESC	60	60
Пропеллеры	20	20
Фюзеляж	100	400
Груз	500	500
Камера	30	30
АКБ	528	528
Запас	174,8	-
ИТОГ	2000	2225,2

Исходя из представленных требований и набора необходимых компонентов для реализации задачи, масса ЛА была выбрана 2кг, далее составлена весовая сводка по агрегатам и элементам. Также составлена предварительная сводка по массам изготавливаемого демонстратора.

6.2. Расчет винто-моторной группы

Для того, чтобы иметь точное представление о том, какой нужен аккумулятор и двигатель, проведём несколько расчётов. Первым делом выведем формулу, с помощью которой сможем посчитать ёмкость АКБ для маршевого и подъёмных двигателей.

$$E = \frac{P}{U} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot t \cdot (1 + Q) \cdot k_e \cdot k_c$$

Где: E – ёмкость АКБ в Ампер*час;

P – крейсерская мощность двигателя(ей) в Ваттах;

U – напряжение АКБ в Вольтах;

η – КПД мотора(ов);

t – время полёта в Часах;

Q – аэронавигационный запас;

k_e – коэффициент, учитывающий просадку напряжения при малой остаточной емкости;

k_c – коэффициент, учитывающий зависимость располагаемой емкости от скорости разряда.

Таблица 4 - Итог расчета:

АКБ Крейсер		Тип	АКБ Взлет	
K_c	1,1	LiIon	K_c	1,1
K_e	1,1		K_e	1,1
Q	0,3		Q	0,3
t	0,3		t	0,017
U	22,2		U	22,2
P	150		P	1000
η	0,9		η	0,9
E	3,542793		E	1,338388
	E сумма	4881,181	mah	

6.3. Расчет проектных параметров

Крейсерская скорость бралась исходя из анализа дальности и потребления двигателя.

- Взлетная масса - 2 кг;
- Крейсерская скорость - 108 км/ч (30 м/с);
- Плотность воздуха на высоте 100м - 1,213 кг/м³;

Расчет скоростного напора

В исходных данных мы имеем все необходимые значения для расчета скоростного напора по формуле:

$$q = \frac{\rho V^2}{2}$$

Получено значение $q=546 \text{ [кг/(м}^3\text{с)}^2]$.

Удельная нагрузка на крыло

Удельную нагрузку было решено взять исходя из опыта в проектировании малых ЛА. Наиболее оптимальные значения для аппаратов такой размерности лежат в диапазоне от 40 до 75 [г/дм²]. С целью обеспечения требуемых размеров крыла и необходимой маневренности было задано значение $p''=65 \text{ [г/дм}^2]$;

Размеры крыла

Имея удельную нагрузку на крыло, можем вычислить потребную площадь крыла по формуле:

$$S = \frac{m_0}{p''_0}$$

Где:

m_0 – масса в первом приближении [кг];

p''_0 – удельная нагрузка на крыло.

Получаем $S=0,307 \text{ [м}^2]$;

6.4. Расчет геометрических параметров

Геометрические параметры рассчитаны с учетом граничных условий по размаху (< 750мм) и хорде крыла (< 350мм). Для управления в каналах тангажа и крена по время горизонтального полета нами были предусмотрены органы управления – элевоны. Для создания необходимого момента их площадь была рассчитана $0.1S_{кр}$ (стандартное соотношение для малой авиации). Опирируя потребной площадью крыла и граничными условиями мы составили предварительный вид плановой проекции ЛА в программе AutoCad.

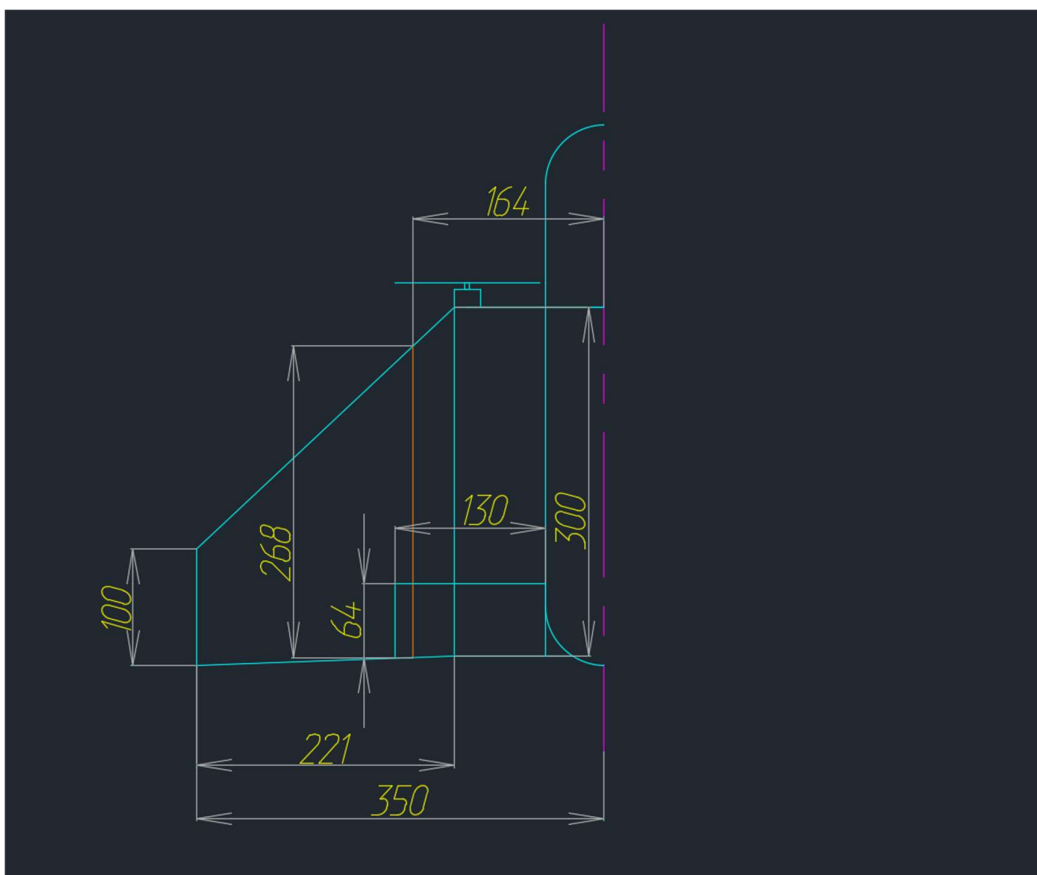


Рис. 1. - Чертеж плановой проекции на одну консоль в программе AutoCad

6.5. Создание центровочной ведомости

Обеспечивая устойчивый полет, центр масс самолета должен находиться впереди точки приложения подъемной силы. Для определения центра масс нами была составлена центровочная ведомость в программе Excel и схема расположения блоков электроники в программе AutoCad.

Таблица 5 - Центровочная ведомость в программе Excel

Моменты			
Наименование	Масса, гр	Плечо, мм	Момент
АКБ 1	135	480	64800
Рама и FC	330	230	75900
АКБ 2	135	480	64800
АКБ 3	135	480	64800
АКБ 4	135	480	64800
CV	300	150	45000
Консоли	200	366	73200
Координата ЦМ		330,87591	

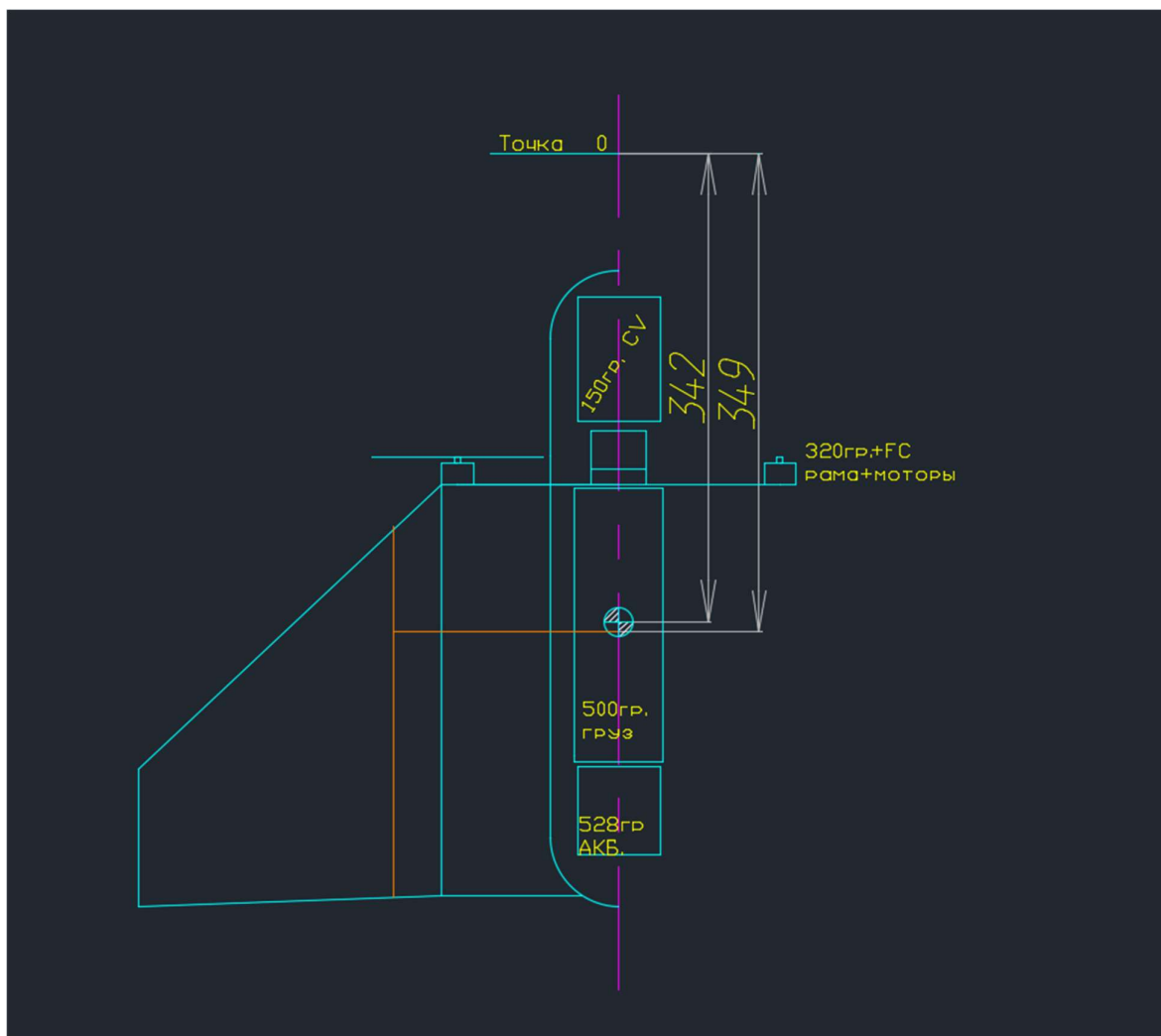


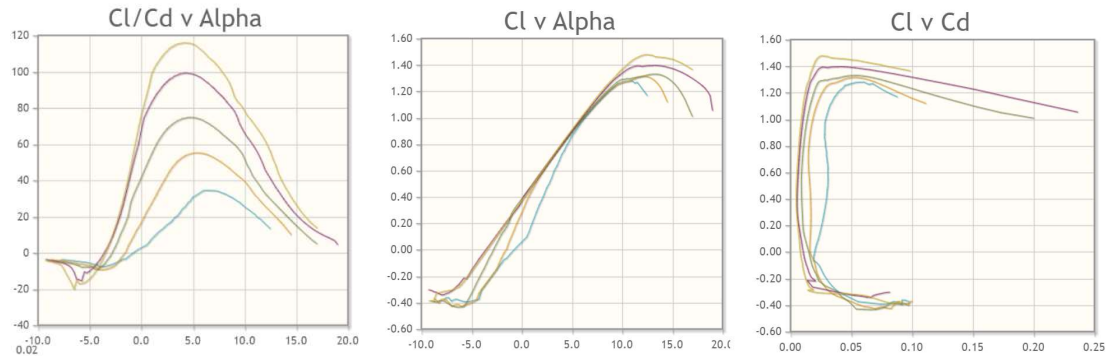
Рис. 2. - Схема центровки в программе AutoCad

6.6. Анализ аэродинамических параметров

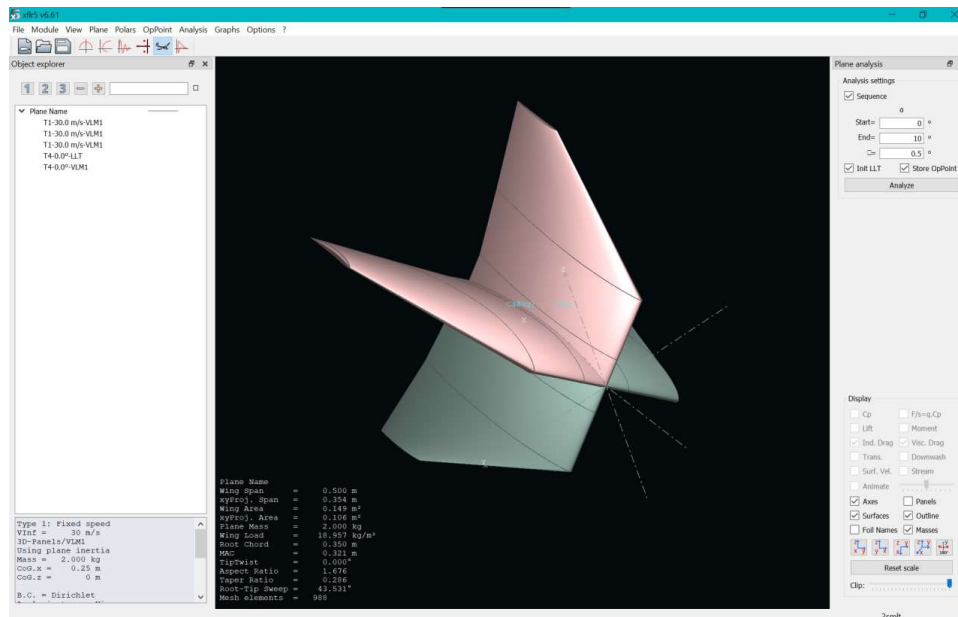
Перед тем как выбрать профиль крыла, необходимо оценить параметры среды на заданном режиме полета – расчет числа Рейнольдса на крейсерской скорости:

Число Re	707583
Хорда, [м]	0,35
Скорость, [м/с]	30,0
Плотность, [кг/м ³]	1,213
Динамическая вязкость при 20`C	0,000018

В качестве аэродинамического профиля крыла выбран профиль sd7037-il так как он хорошо оптимизирован под эксплуатационный диапазон чисел Рейнольдса нашего ЛА. Характеристики профиля были оценены в Airfoiltools и получены следующие зависимости:



На графиках представлены зависимости аэродинамического качества от угла атаки, коэффициента подъемной силы от угла атаки и коэффициента подъемной силы от коэффициента лобового сопротивления соответственно. Далее представлена расчетная модель крыла изделия в XFLR5 для более детальной оценки АДХ.



После проведения расчета была обнаружена избыточная курсовая устойчивость и недостаточная площадь крыла в плане, в связи с этим X-

образность была изменена до угла развала консолей 60 градусов от ПСС, увеличен размах крыла и уменьшена корневая хорда.

6.7. Расчет аэродинамических характеристик в ANSYS

Для обеспечения устойчивости и управляемости в различных режимах полета необходимо тщательно анализировать характеристики аэродинамического профиля. Расчет аэродинамических характеристик был проведен в программе ANSYS. Дополнительно, были проведены эксперименты с изменением угла атаки для определения оптимальных условий работы аппарата. По результатам расчёта был выбран крейсерский угол атаки, исходя из условия максимального качества. Максимальное качество нашего аппарата равно 9, и реализуется на полетном угле атаки, равным 3°

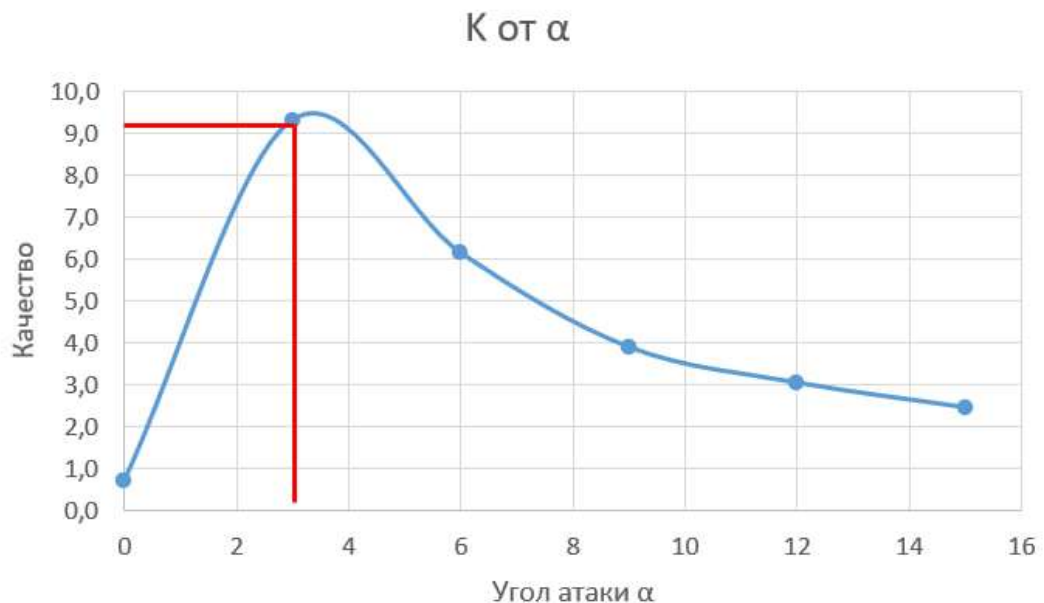


Рис. 3. - Зависимость качества от угла атаки

Полученные данные будут использоваться для дальнейшей оптимизации конструкции и повышения эффективности полета.

Была построена объемная треугольная сетка, изображение приведено ниже.

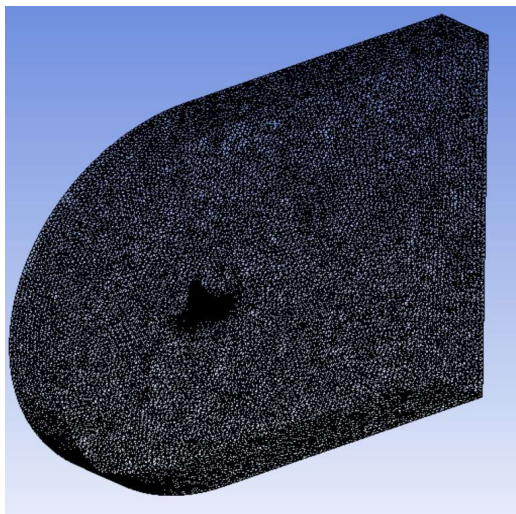


Рис. 4. - Сетка в ANSYS

После чего был произведен расчет на различных углах атаки (0, 3, 6, 9, 12, 15), и выявлен оптимальный (по методике, описанной выше) для крейсерского полета.

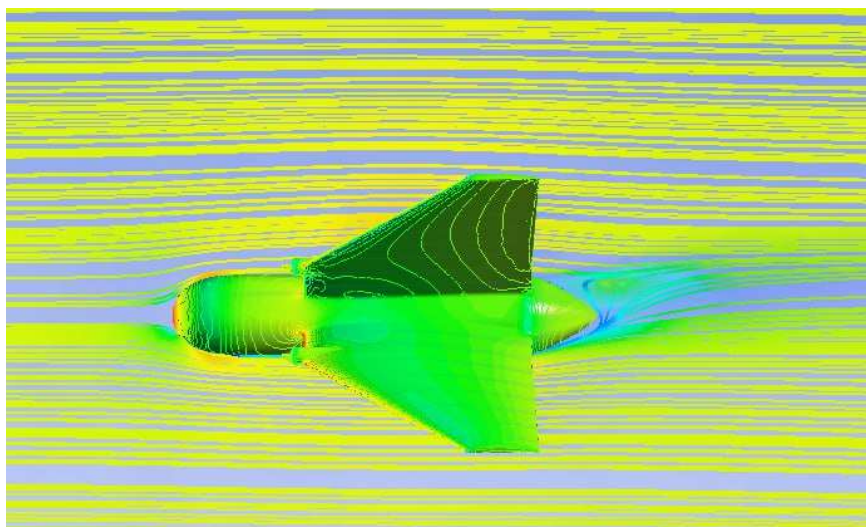


Рис. 5. - Распределение давления при угле атаки 0 град.

7. Построение электронного макета

Электронный макет был выполнен в CAD программе Siemens NX.

7.1. Общий вид изделия

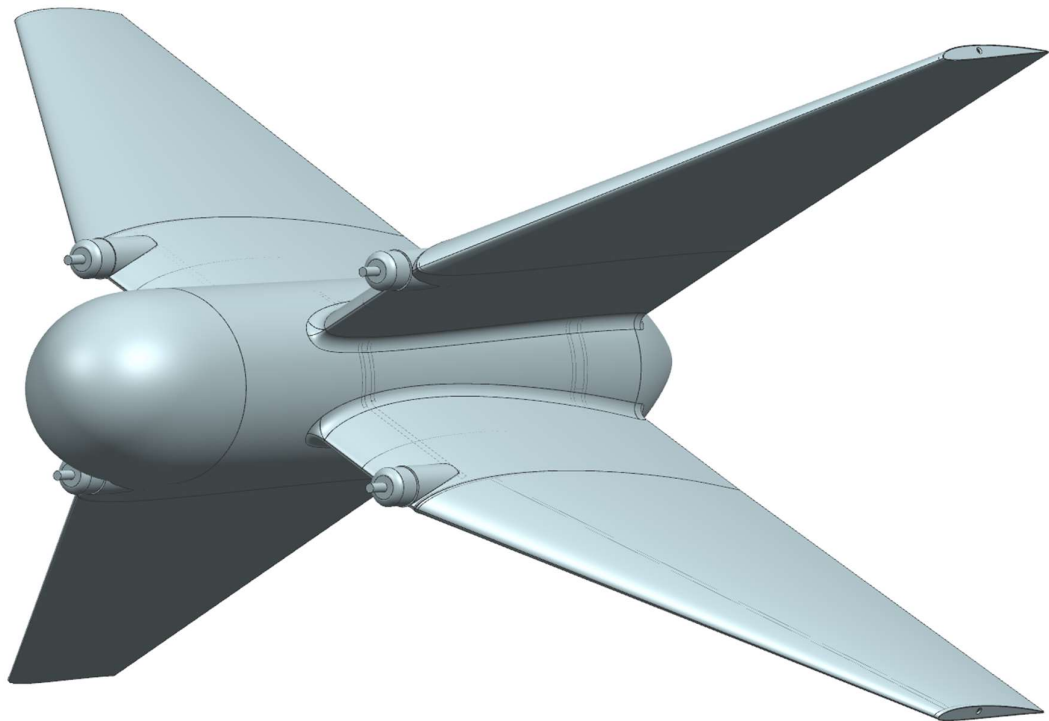


Рис. 6. - 3д вид модели

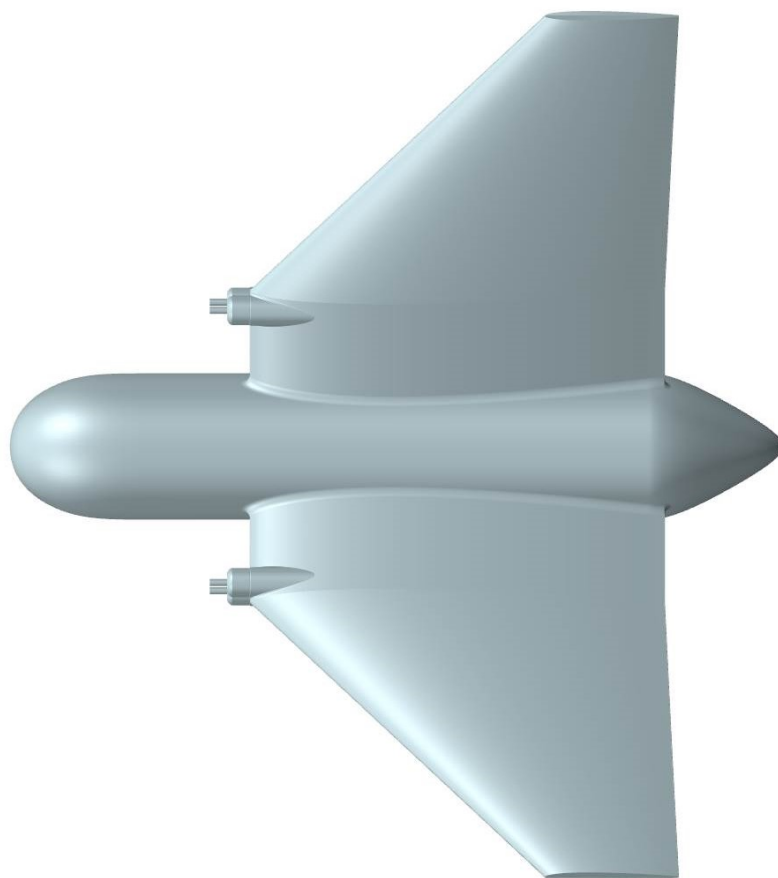


Рис. 7. - Плановая проекция сверху

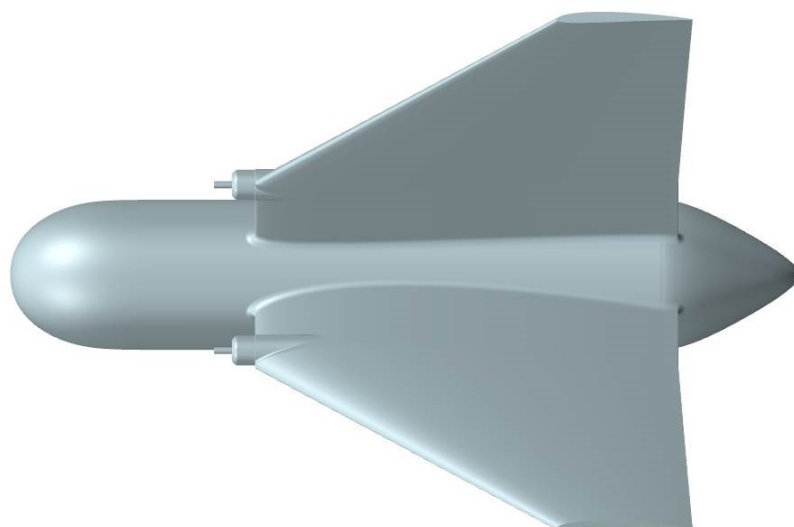


Рис. 8. - Боковая проекция сбоку

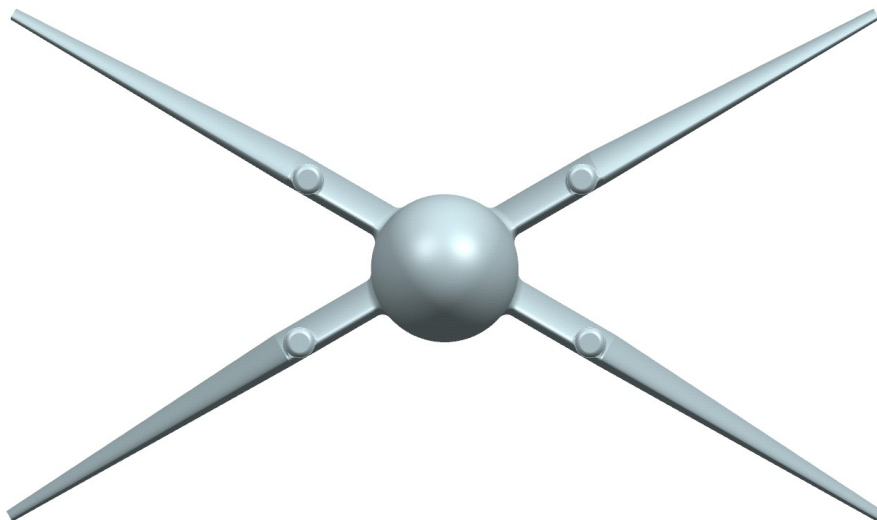


Рис. 9. - Фронтальная проекция

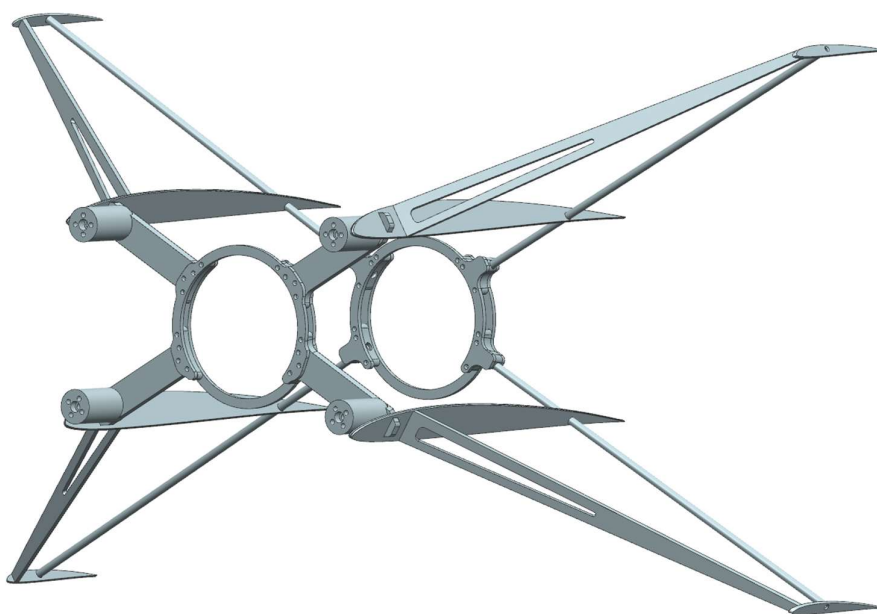


Рис. 10. - КСС БПЛА

7.2. Эксплуатационное членение

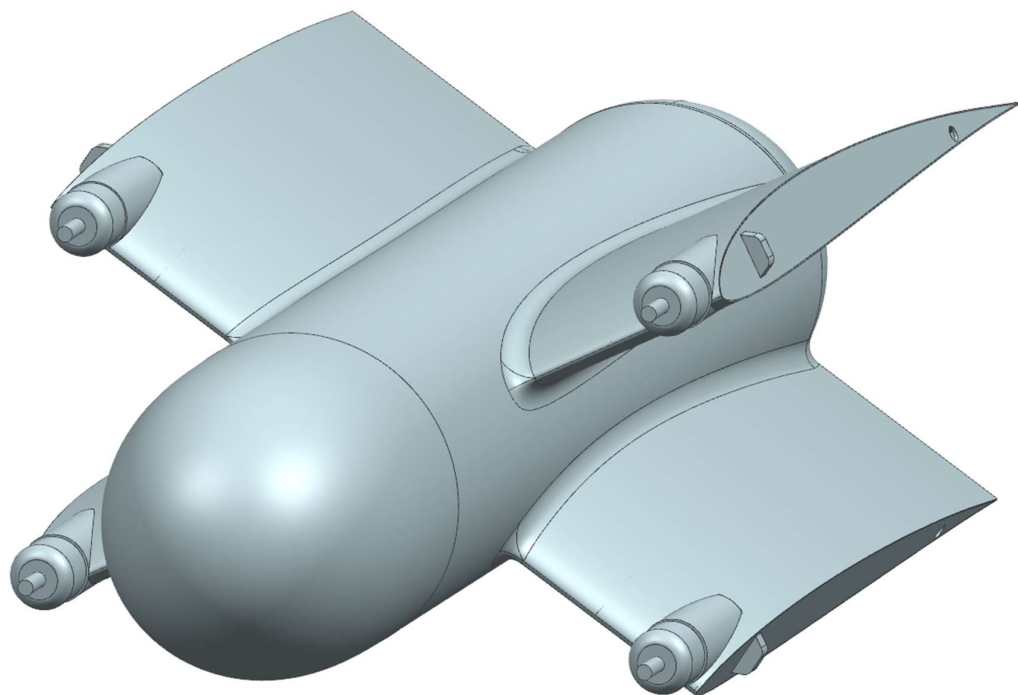


Рис. 11. - Сегмент фюзеляжа

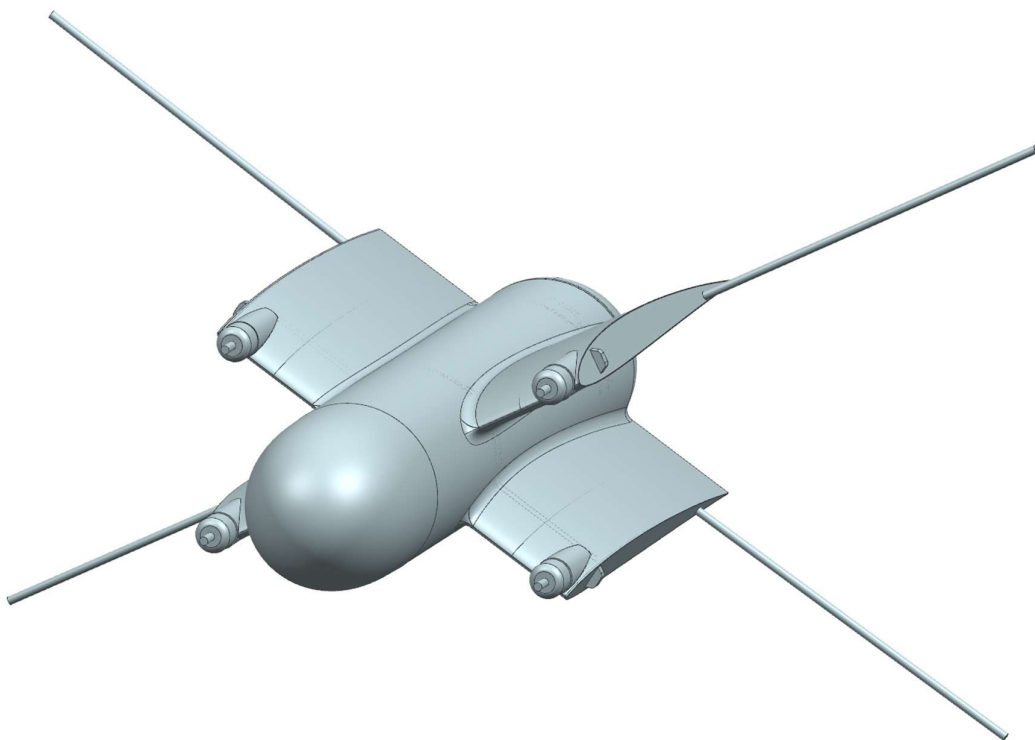


Рис. 12. - Фюзеляж, готовый к установке консолей

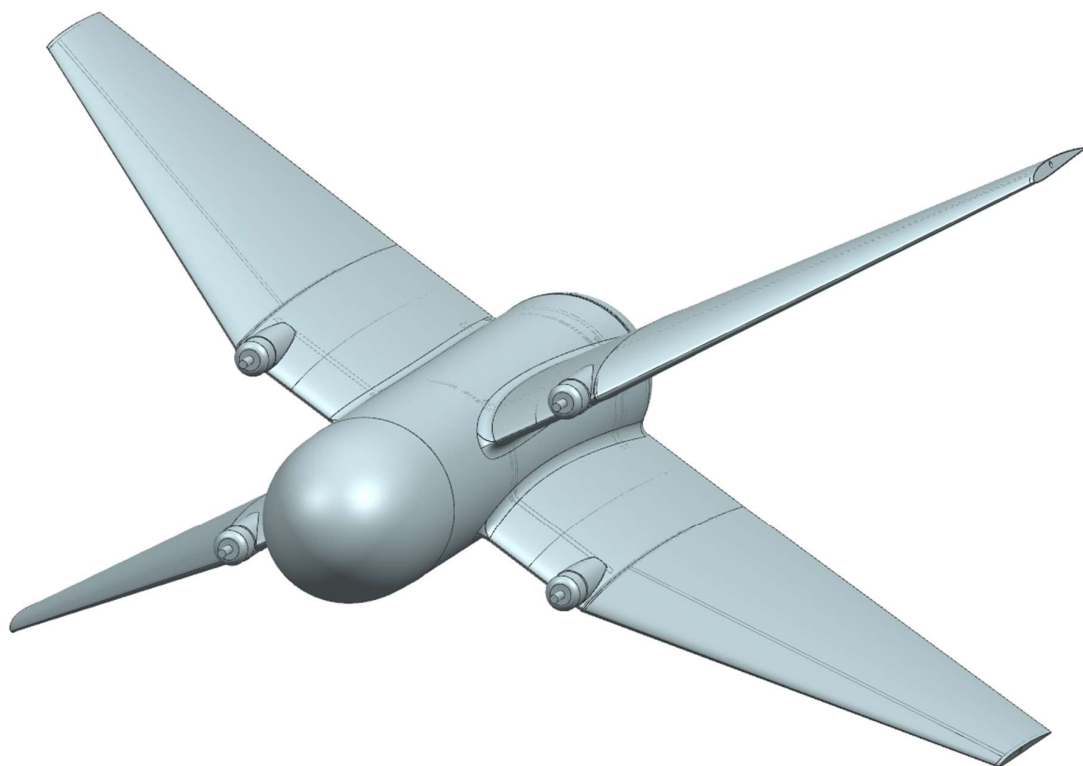


Рис. 13. - БПЛА готовый к использованию

8. Технологическая документация

8.1. Технология изготовления БПЛА

Фюзеляж и консоли изготавливаются из композиционного материала с использованием пуансона. В верхнюю и нижние матрицы закладываются слои карбона, затем укладывается пеноплексовый пуансон и закрывается ответной частью матрицы. Конструкция плотно скручивается и остается до полимеризации смолы.

Обтекатели изготавливаются при помощи аддитивных технологий (3д печать из пластика PET-G)

КСС нарезается из карбоновых листов на фрезерном станке.

Все клеевые соединения производятся на эпоксидную смолу.

Резьбовые соединения изготавливаются из стальных заготовок.

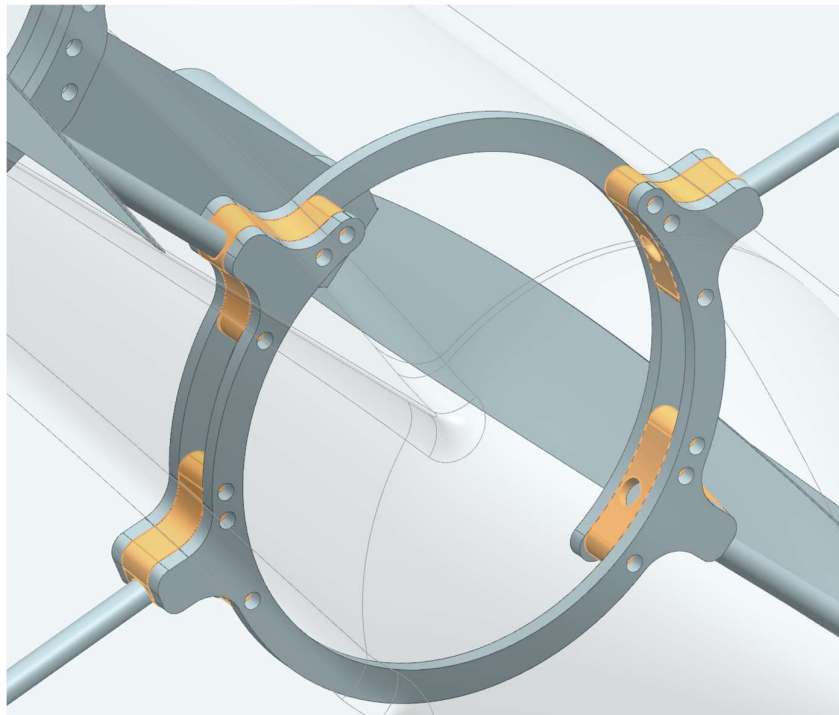


Рис. 14. - Резьбовые элементы, изготавливаемые из металла

8.2. Описание технологического процесса сборки

1. БПЛА достается из коробки;
2. В неотъемные части крыла вкручиваются задние лонжероны;
3. На лонжероны надеваются отъёмные части крыла;
4. ОЧК фиксируются при помощи винтов в закладные задних лонжеронов.

Процесс сборки соответствует изображением пункта 6.2 эксплуатационное членение.

9. Расчёт экономической модели проекта

Чтобы запустить проект в серийное производство, был произведен расчет экономической составляющей проекта. Оценили стоимость всех расходных материалов, а также определили затраты на необходимое оборудование и дополнительные расходы. Рассчитали амортизацию оборудования, чтобы понять его стоимость в течение срока службы. На основе этих данных мы смогли вычислить себестоимость одного авиационного комплекса, в который входит наземный пункт управления и 5 БПЛА.

Кроме того, мы учли потенциальные риски и конкуренцию на рынке, что поможет в дальнейшем оптимизировать наши расходы и повысить эффективность производства.

Таблица 6 - Экономический расчет

1 БПЛА		Необходимое оборудование		ДОП. РАСХОДЫ		Цена за 30 БПЛА	Расходы
Материалы	Стоимость	Оборудованиен	Стоимость	Наземный пункт управления	15000		
Карбоновая труба	10000	Матрицы	1000000	ЗП рабочим	2000		
Обшивка на консоли	5000	Станочный парк	4000000	Аренда помещения	60000		
Обтекатели	2000	Инструменты	100000				
моторы	6000	ИТОГО	5100000			3481500	21250
аккумуляторы	8000						60000
регуляторы	4000						60000
полётный контролер	15000						2760000
GPS	6000	Амортизация за месяц (30 БПЛА)				за 1 комплекс	595250
компьютерное зрение	15000	Амортизация = $\frac{\text{Стоим. Станка}}{\text{Срок эксплуатаии}} = \frac{5100000}{240} = 21250$					2901250 итог
КСС (нервюры, рама, лонжероны)	16000					Комплекс- 5 БПЛА, наземный пункт упрвления	
расходники	5000						
ИТОГО	92000						