ОКБ СУХОГО  
БПЛА Sagittarius

# Оглавление

[Оглавление 2](#_Toc178268150)

[1. Перечень сокращений и терминов 4](#_Toc178268151)

[2. Описание проекта 5](#_Toc178268152)

[2.1. Цель проекта 5](#_Toc178268153)

[2.2. Преимущества БПЛА 5](#_Toc178268154)

[3. Анализ рынка 7](#_Toc178268155)

[3.1. Сравнение методов грузоперевозки 7](#_Toc178268156)

[3.2. Сравнение прототипов 8](#_Toc178268157)

[4. Список требований к системе 10](#_Toc178268158)

[5. Расчеты ЛА 12](#_Toc178268159)

[**5.1.** **Создание весовой сводки** 12](#_Toc178268160)

[**5.2.** **Расчет винто-моторной группы** 12](#_Toc178268161)

[**5.3.** **Расчет проектных параметров** 13](#_Toc178268162)

[**5.4.** **Расчет геометрических параметров** 14](#_Toc178268163)

[**5.5.** **Создание центровочной ведомости** 15](#_Toc178268164)

[**5.6.** **Анализ аэродинамических параметров** 16](#_Toc178268165)

[6. Построение электронного макета 19](#_Toc178268166)

[7. Описание АК 22](#_Toc178268167)

[7.1. Состав АК и причастных людей 22](#_Toc178268168)

[7.2. Взаимодействие элементов АК 23](#_Toc178268169)

# Перечень сокращений и терминов

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

# Описание проекта

## 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.

## 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.

# Анализ рынка

## 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 дозаправки 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.

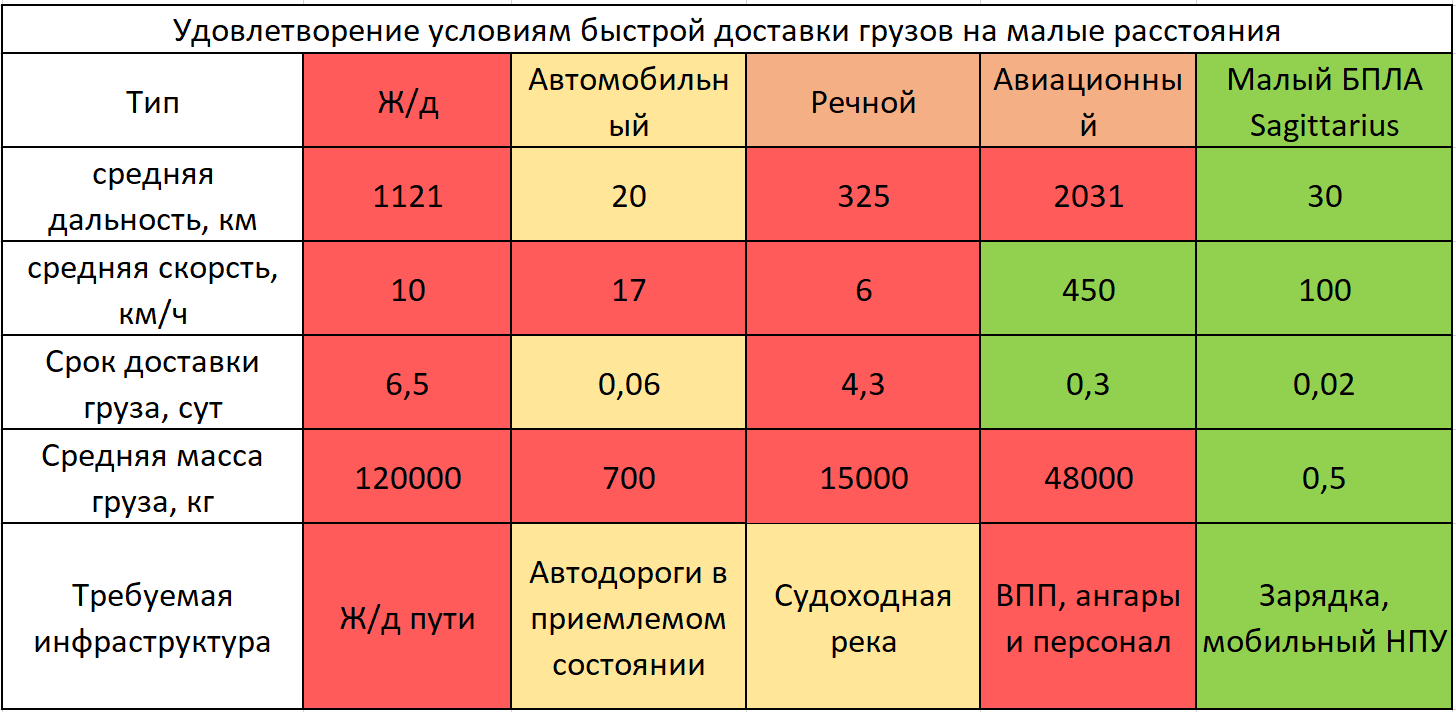
4. Речной транспорт:

- 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.

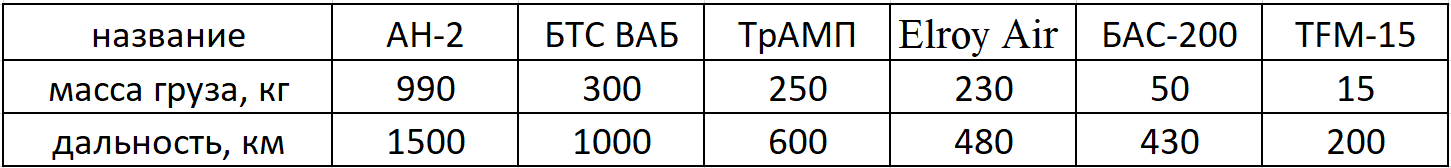
1. Сравнение методов перевозок.



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

## Сравнение прототипов

1. Сравнение прототипов.



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.

# 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.), что требует наличия системы автоматического управления и стабилизации.
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.

# Описание АК

## Состав АК и причастных людей

В состав авиационного комплекса Sagittarius:

* Оператор

Выполняет обсуживание 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 запрапрашиваемой 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.

## Взаимодействие элементов АК



Рис.11 - Схема работы оператора

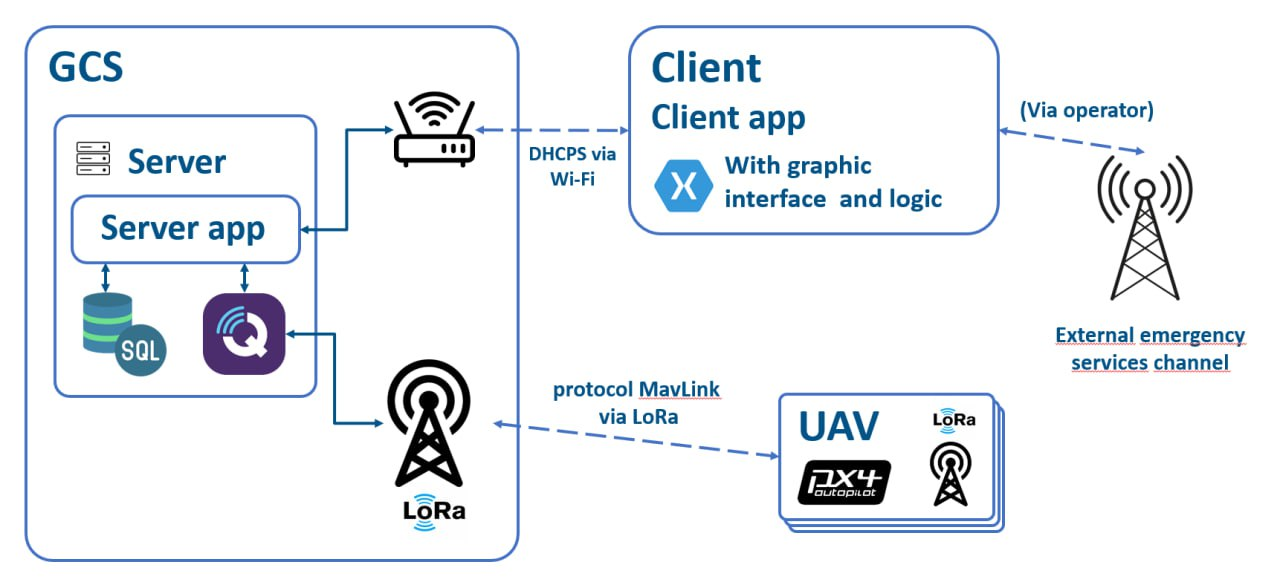


Рис.12 - Схема архитектуры взаимодействия

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.

# ****Расчеты ЛА****

* 1. **Создание весовой сводки**

1. 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.

* 1. **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.

Где: E – ёмкость АКБ в Ампер\*час;

P – крейсерская мощность двигателя(ей) в Ваттах;

U – напряжение АКБ в Вольтах;

– КПД мотора(ов);

t – время полёта в Часах;

Q – аэронавигационный запас;

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

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

1. Итог расчета:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| АКБ Крейсер | | Тип | АКБ Взлет | |
| Kc | 1,1 | LiIon | Kc | 1,1 |
| Ke | 1,1 |  | Ke | 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 |  |

* 1. **Расчет проектных параметров**

Крейсерская скорость бралась исходя из анализа дальности и потребления двигателя.

* Взлетная масса - 2 кг;
* Крейсерская скорость - 108 км/ч (30 м/c);
* 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:

https://lh7-rt.googleusercontent.com/docsz/AD_4nXeDYAeGyCsnbI44TngmMBfxTjsnlB3I3JGlmQaRb5pX6EMz2uQJv8lLL7i9droczxezXU8kOP0UnvTYodZlCtXA7ERcRMr76eDev03-kU8Vx2JD6C_pabf91Hrk8KPnl9DZejfXT_2vkNfJZe7O43ueOrw?key=qlAheBjK1uy58i4hF1OBPw

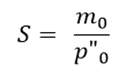
Получено значение q=546 [кг/(м\*с)^2].

**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/дм^2]. С целью обеспечения требуемых размеров крыла и необходимой маневренности было задано значение p``=65 [г/дм^2];

**Размеры крыла**

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



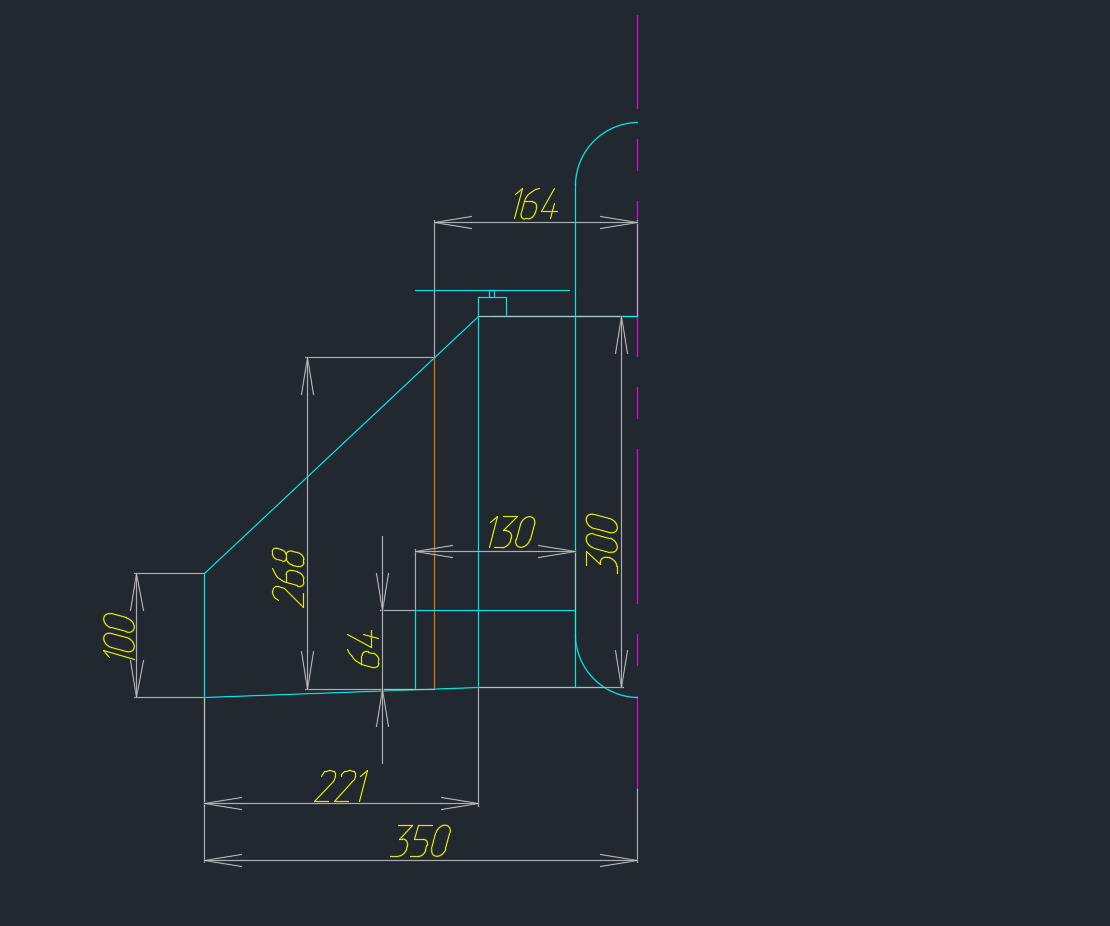
Где:

m0 – масса в первом приближении [кг];

p``0 – удельная нагрузка на крыло. Получаем S=0,307 [м^2];

* 1. **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 0.1Sкр (стандартное соотношение для малой авиации). Оперируя потребной площадью крыла и граничными условиями мы составили предварительный вид плановой проекции ЛА в программе AutoCad.

****

1. Чертеж плановой проекции на одну консоль в программе AutoCad
   1. **Создание центровочной ведомости**

Обеспечивая устойчивый полет, центр масс самолета должен находится 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.

1. Центровочная ведомость в программе Excel

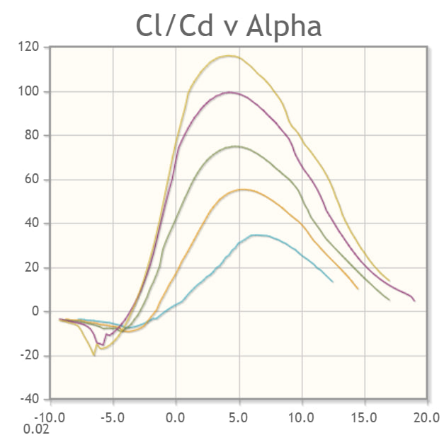
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Моменты | | | |
| Наименование | Масса, гр | Плечо, мм | Момент |
| АКБ 1 | 135 | 480 | 64800 |
| Рама и FC | 330 | 230 | 75900 |
| АКБ 2 | 135 | 480 | 64800 |
| АКБ 3 | 135 | 480 | 64800 |
| АКБ 4 | 135 | 480 | 64800 |
| CV | 300 | 150 | 45000 |
| Консоли |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

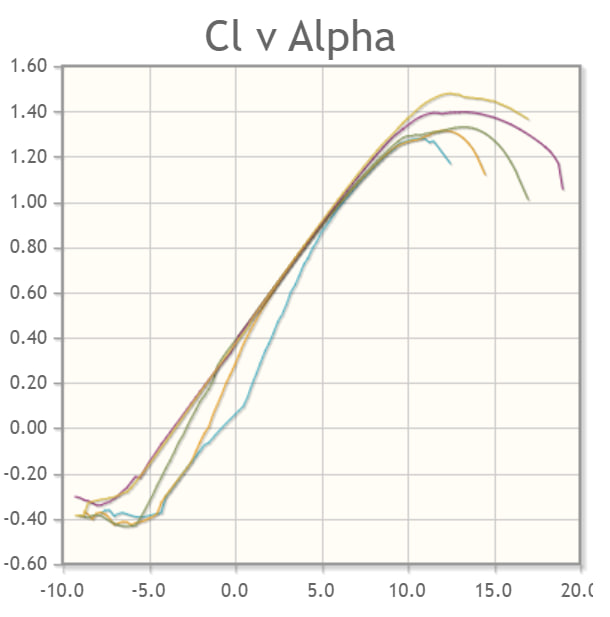
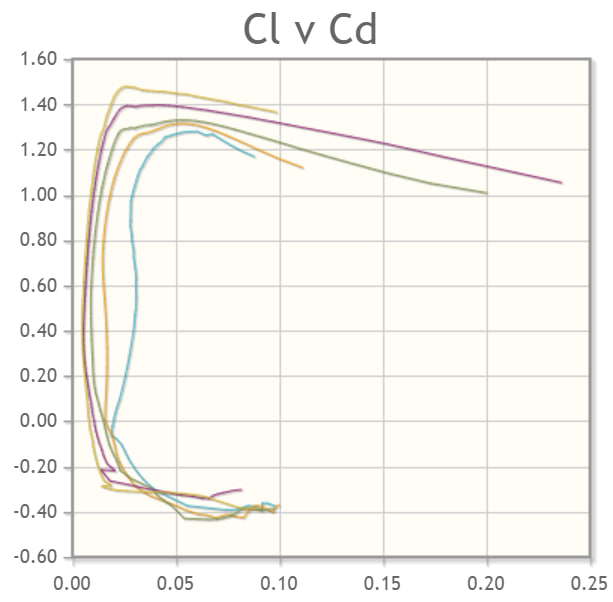


1. Схема центровки в программе AutoCad
   1. **Анализ аэродинамических параметров**

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

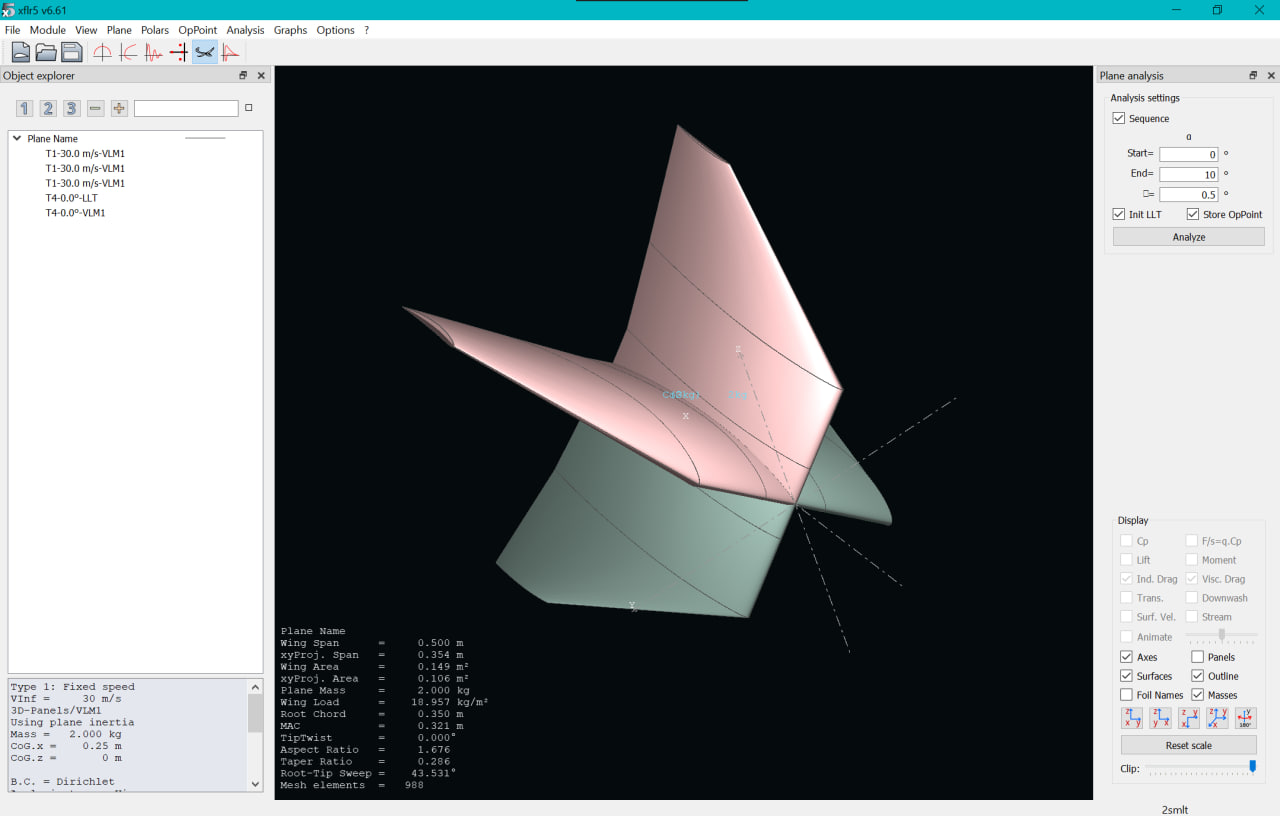
|  |  |
| --- | --- |
| Число Re | 707583 |
| Хорда, [м] | 0,35 |
| Скорость, [м/с] | 30,0 |
| Плотность, [кг/м^3] | 1,213 |
| Динамическая вязкость при 20`С | 0,000018 |

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 коэффициената подъемной силы от коэффициента лобового сопротивления соответственно.

Далее представлена расчетная модель крыла изделия в XFLR5 для более детальной оценки АДХ.



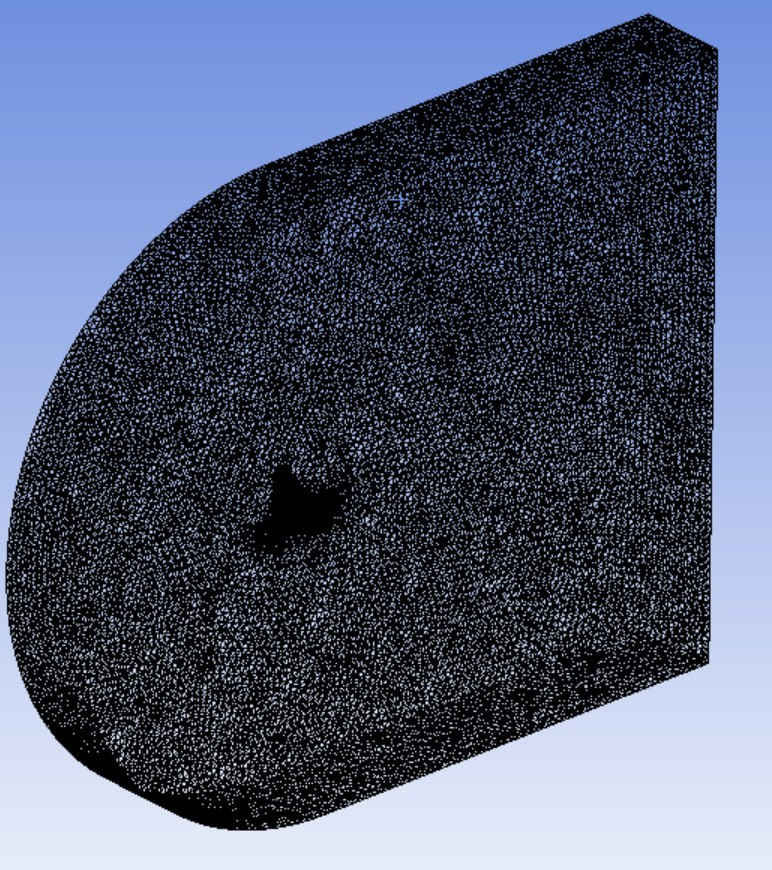
После проведения расчета была обнаружена избыточная курсовая устойчивость и недостаточная площадь крыла в плане, в связи с этим Х-образность была изменена до угла развала консолей 60 градусов от ПСС, увеличен размах крыла и уменьшена корневая хорда.

## 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 рассчёта был выбран крейсерский угол атаки, исходя из условия максимального качества. Максимальное качество нашего аппарата равно 9, и реализовывается на полетном угле атаки, равным 3°

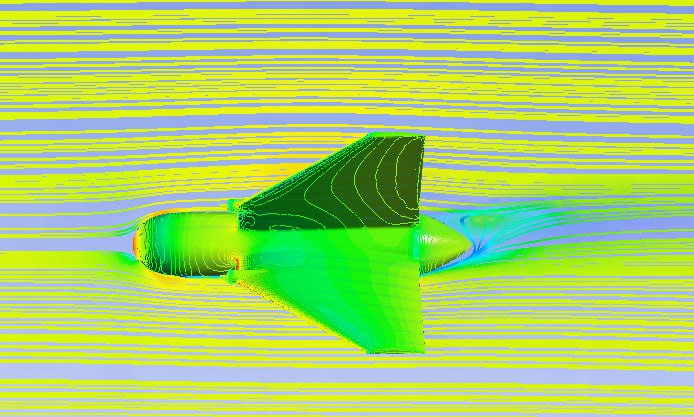
Полученные данные будут использоваться для дальнейшей оптимизации конструкции и повышения эффективности полета.

Была построена объемная треугольная сетка, изображение приведено ниже.



1. Сетка в ансис

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

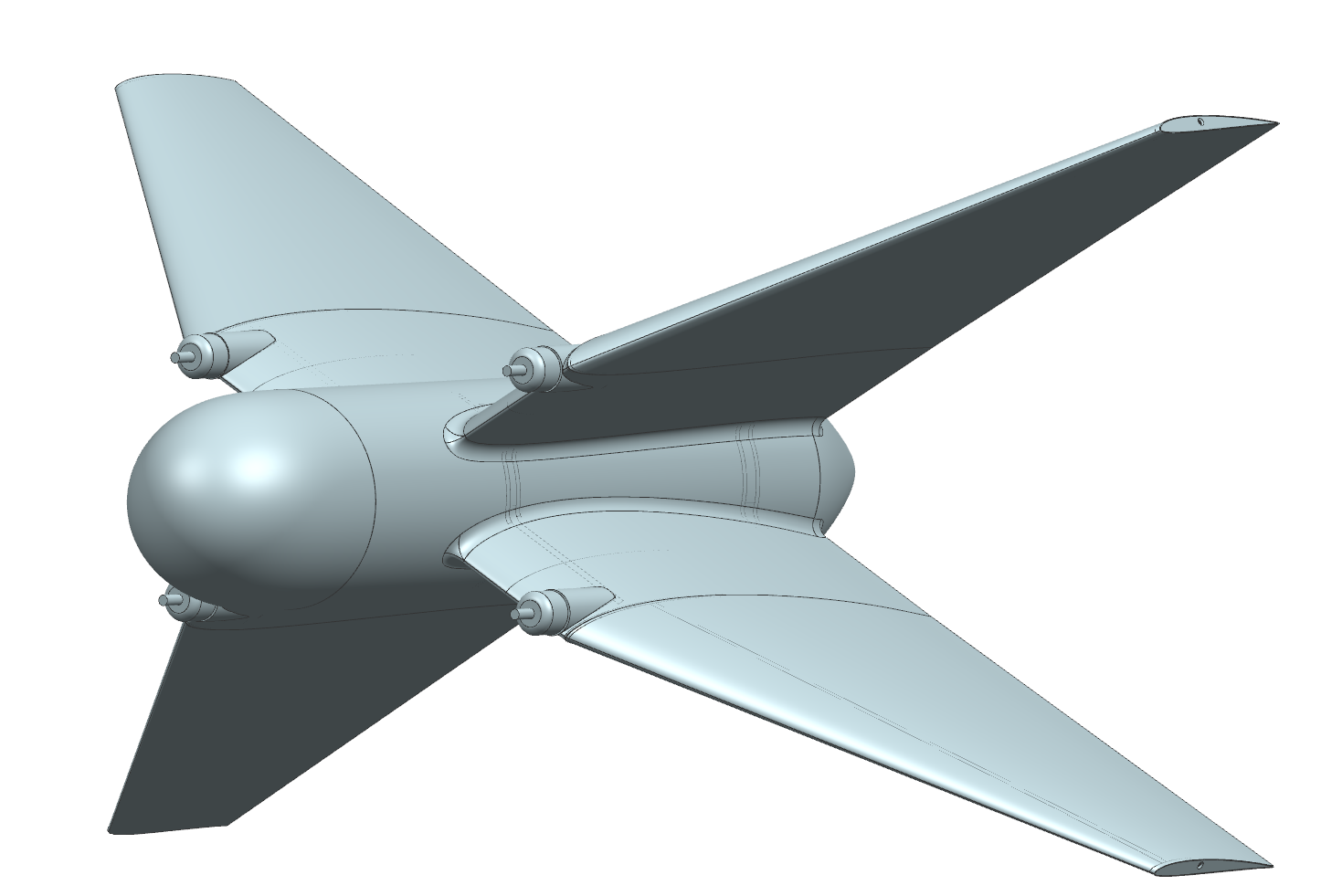


1. Распределение давления при угле атаки 0 град.

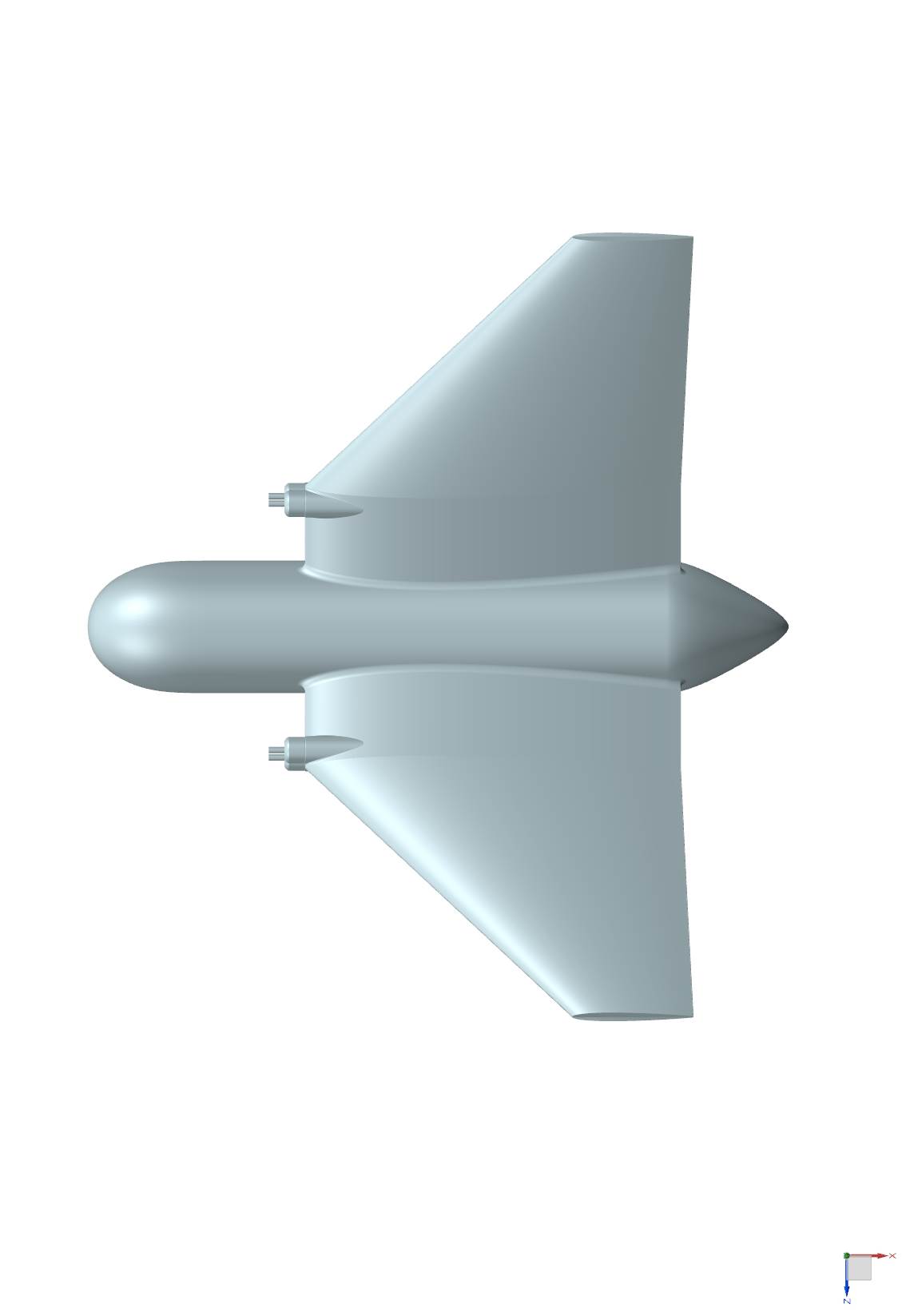
# Построение электронного макета

Электронный макет был выполнен в CAD программе Siemens NX.

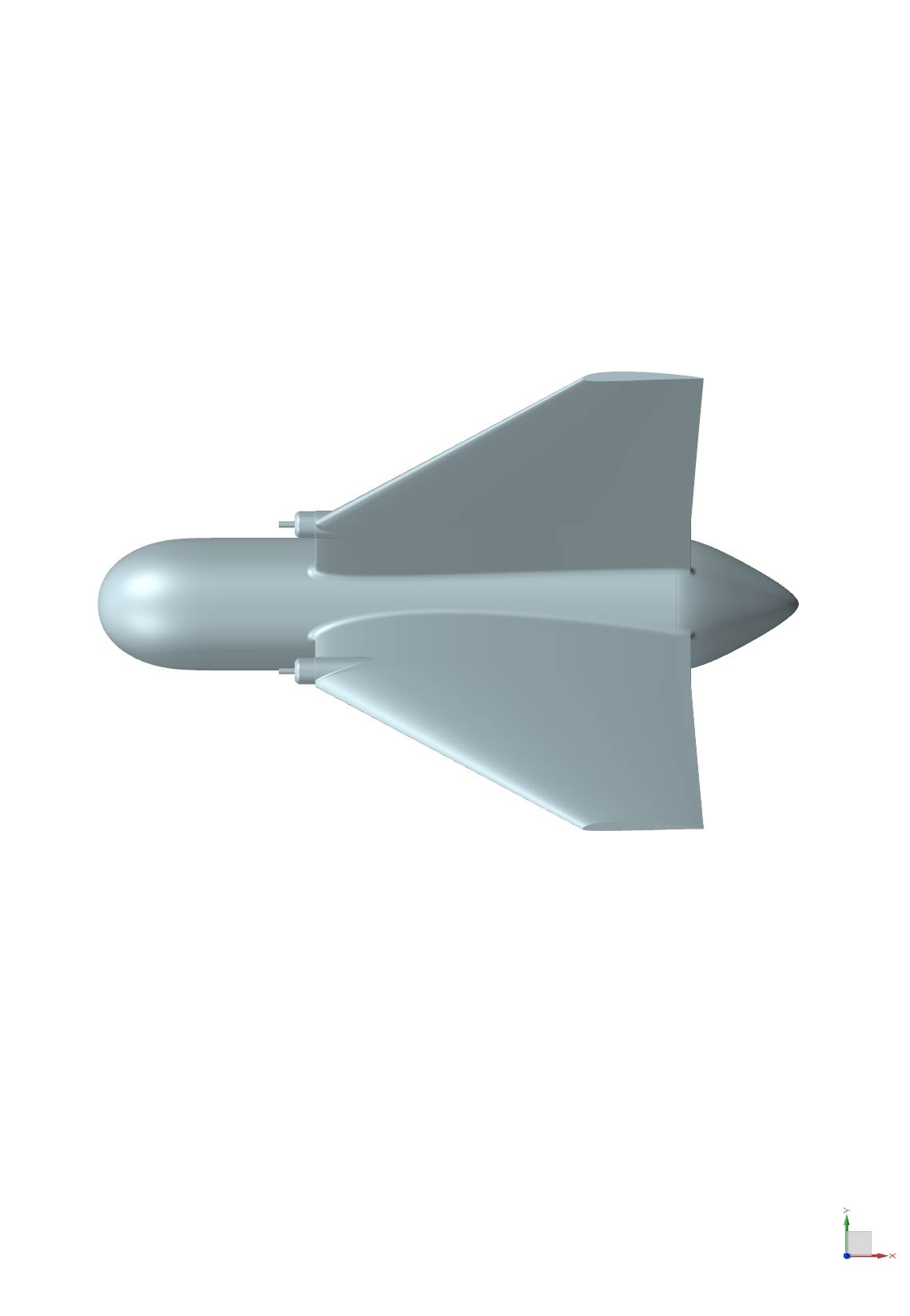
## Общий вид изделия



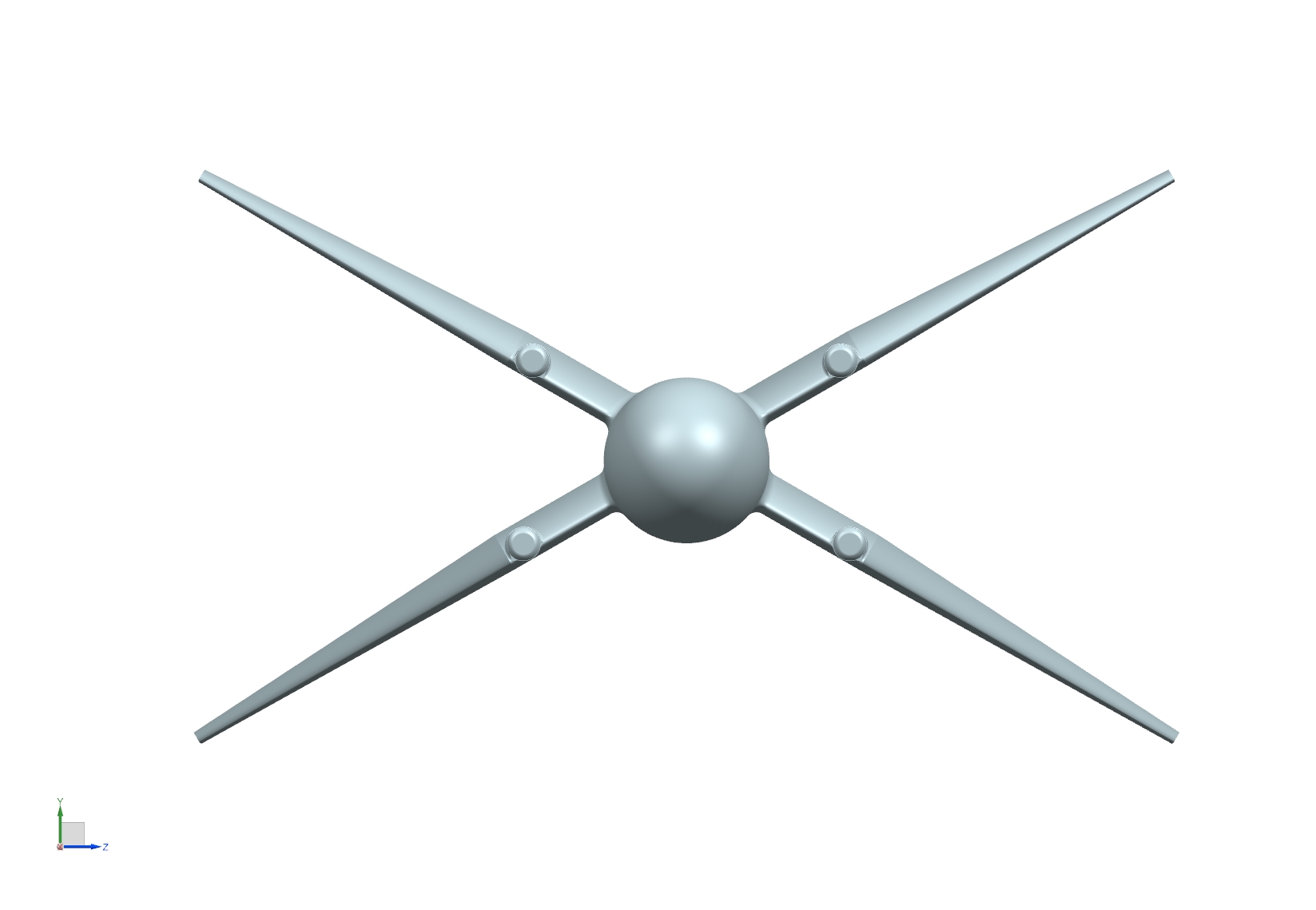
1. 3д вид модели



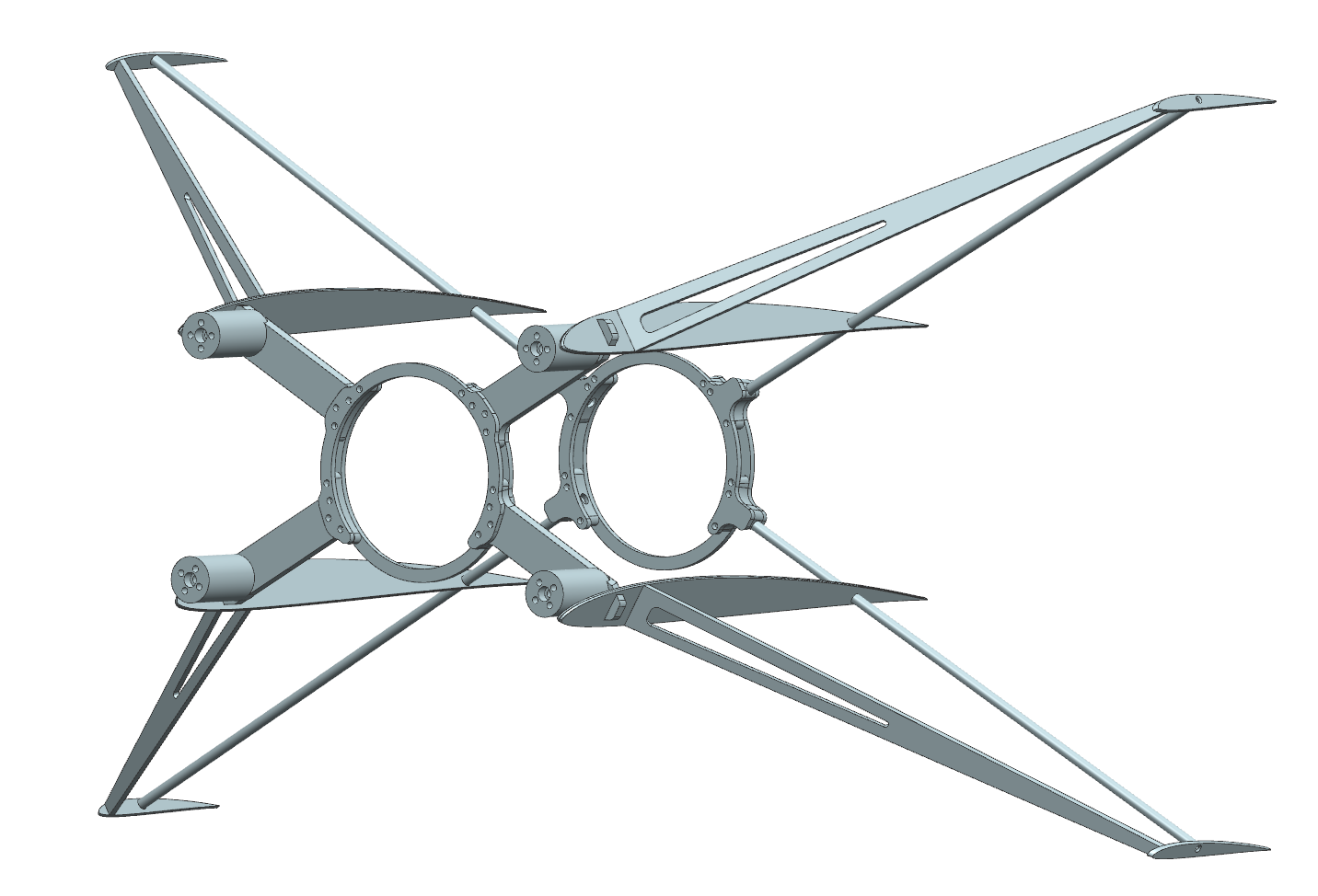
1. Плановая проекция сверху



1. Боковая проекция сбоку

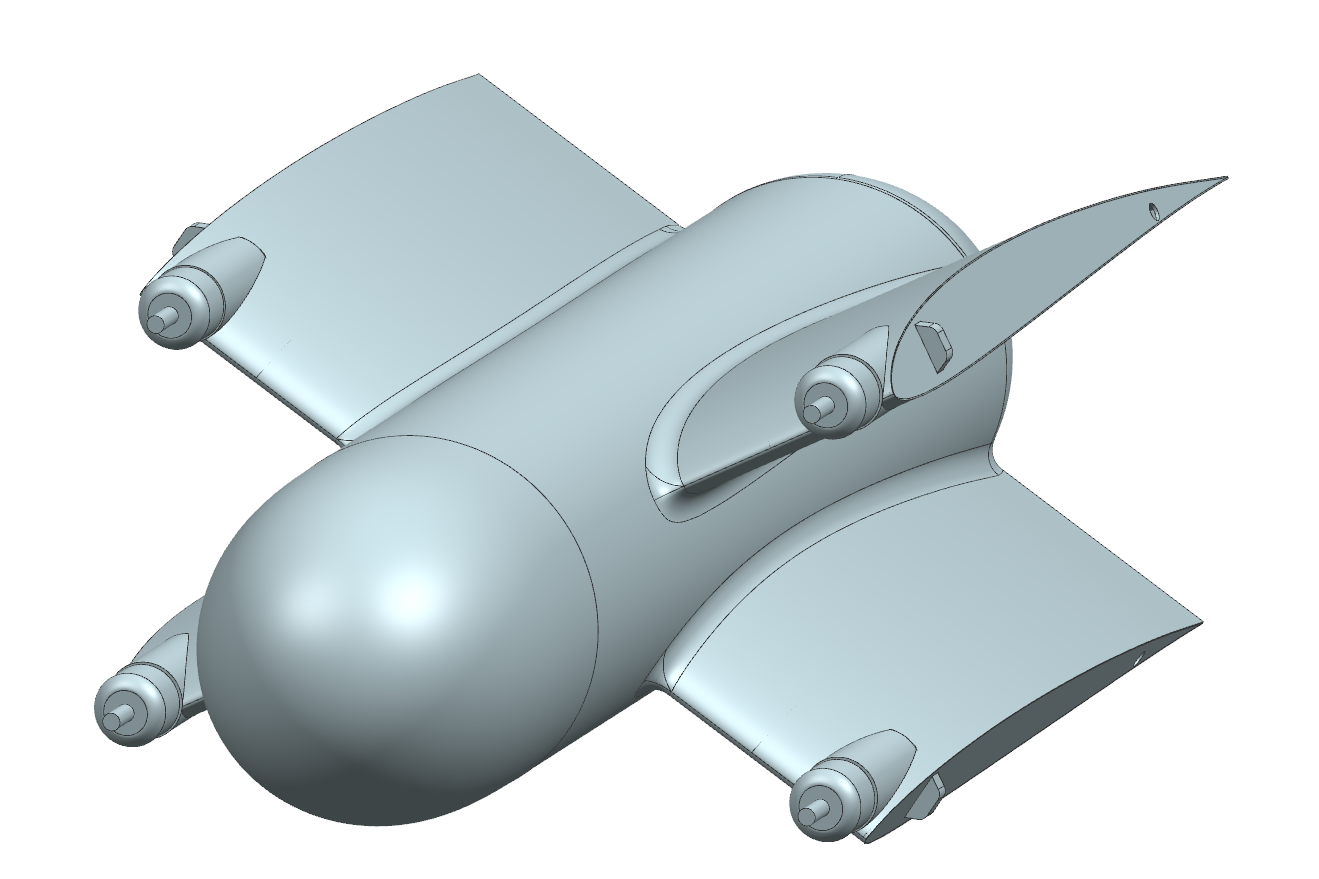


1. Фронтальная проекция

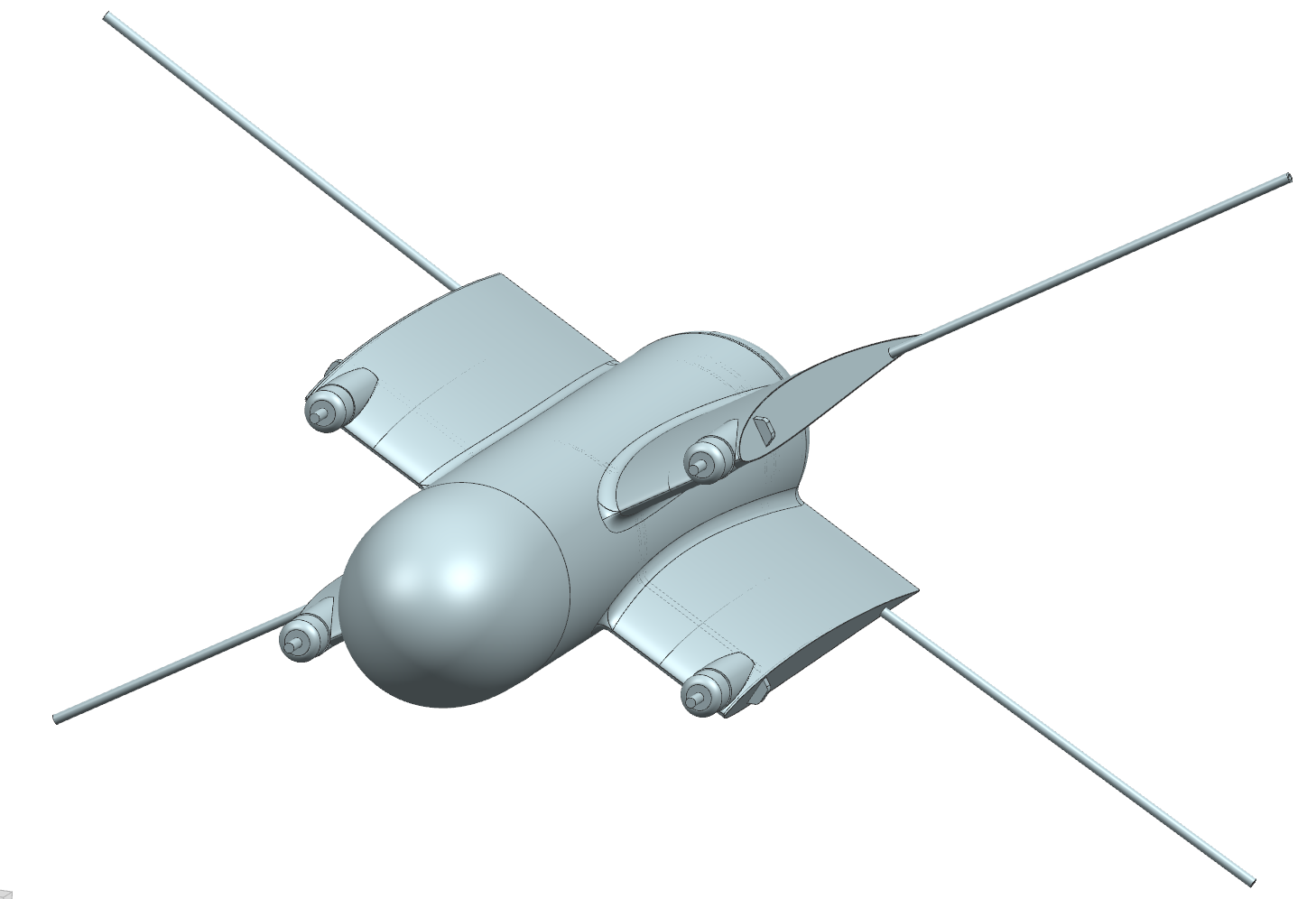


1. КСС БПЛА

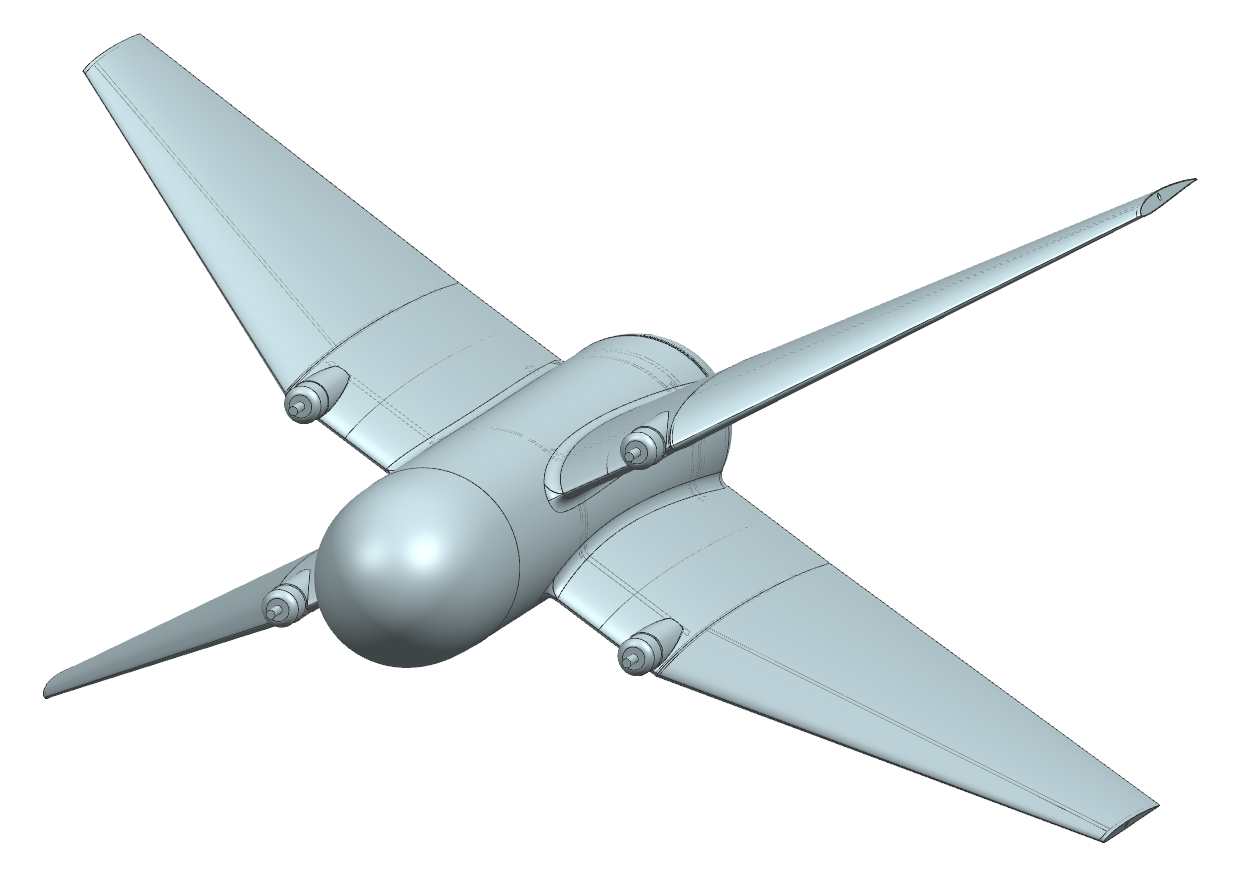
## Эксплуатационное членение



1. Сегмент фюзеляжа



1. Фюзеляж, готовый к установке консолей



1. БПЛА готовый к использованию

# Технологическая документация

## Технология изготовления БПЛА

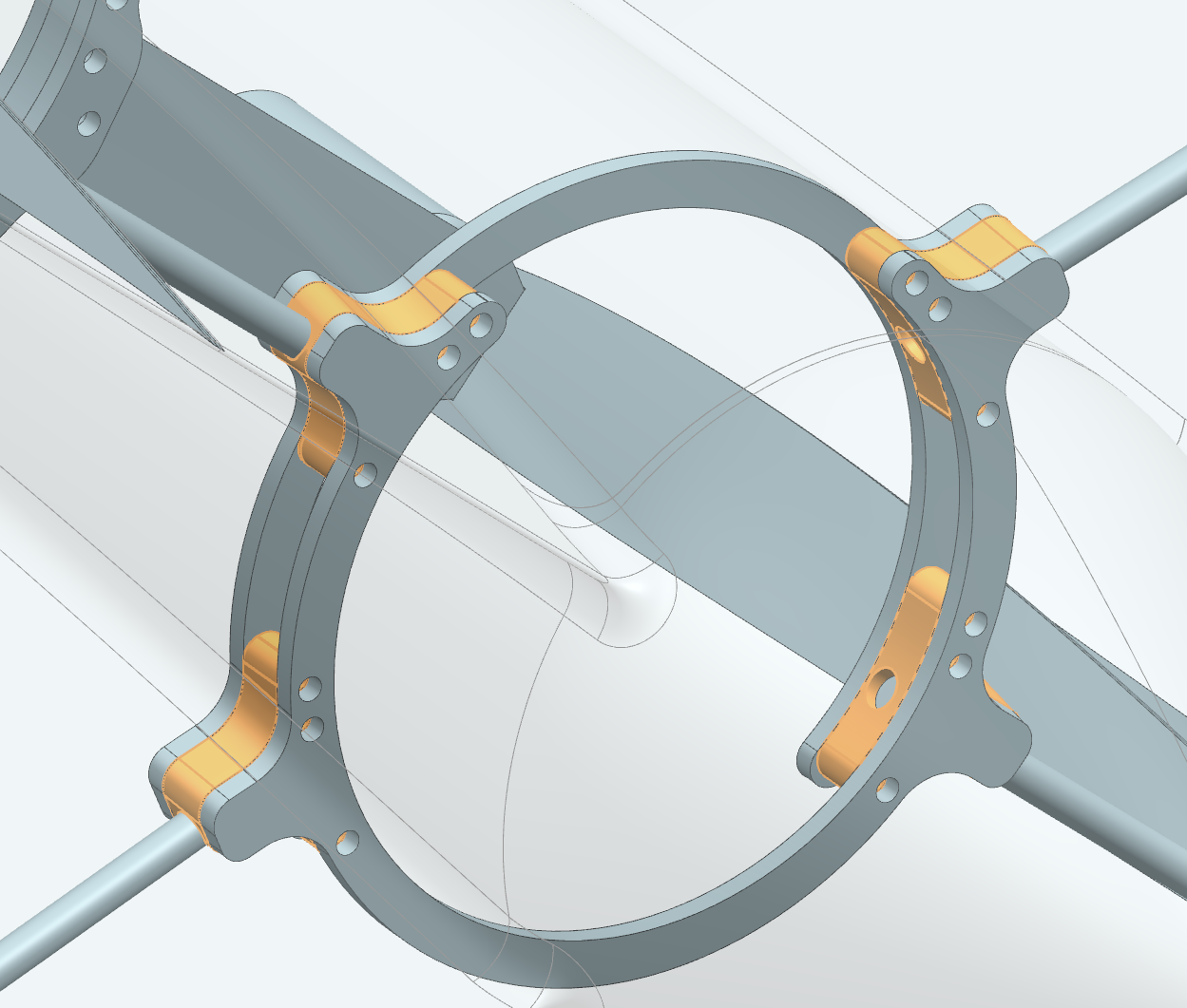
Фюзеляж и консоли изготавливаются из композиционного материала с использованием пуансона. В верхнюю и нижние матрицы закладываются слои карбона, затем укладывается пеноплексовый пуансон и закрывается ответной частью матрицы. Конструкция плотно скручивается и остается до полимеризации смолы.

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.



1. Резьбовые элементы, изготовляемые из металла

## 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.

# Расчёт экономической модели проекта

Чтобы запустить проект в серийное производство, был произведен расчет экономической составляющей проекта.

1. Экономический расчет

