

Національний лісотехнічний університет України
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут деревообробних та
комп'ютерних технологій і дизайну
(повне найменування інституту)

Кафедра інформаційних систем та комп'ютерного моделювання
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

перший (бакалаврський)
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розроблення системи автоматизованого проектування безпілотної
засобами SolidWork/SolidWorks Flow Simulation»

Виконав: студент II курсу, групи ICTc-21
напряму підготовки
126 – «Інформаційні системи та технології»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Каган О.З.
(прізвище та ініціали)

Керівник доц. Борецька І.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Яцишин С.Г.
(прізвище та ініціали)

Львів – 2023 р.

Національний лісотехнічний університет України

(повне найменування вищого навчального закладу)

ННІ Деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну

Кафедра Інформаційних систем та комп'ютерного моделювання

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи і технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Сторожук О.Л.

“12” 06 2023 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кагану Остапу Зіновійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизованого проектування безпілотної засобами SolidWorks / SolidWorks Flow Simulation

Керівник роботи Борецька Ірина Богданівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “21” листопада 2022 року

№ С-521

2. Термін подання студентом роботи “10” червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Формулювання задачі та її формалізація

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Стан проблемної області

2. Інформаційне та математичне забезпечення

3. Програмне забезпечення

4. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

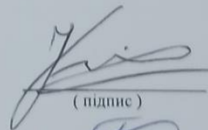
Креслення та презентація

6. Дата видачі завдання 23 листопада 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Системний аналіз стану проблемної області. Огляд літературних джерел згідно досліджуваної теми.	25.12.22	Виконано
2	Постановка задачі і етапи проектування	15.02.23	Виконано
3	Побудова 3D-моделі безпілота	28.03.23	Виконано
4	Проведення дослідження в середовищі SolidWorks Flow Simulation	20.04.23	Виконано
5	Оформлення записки до дипломної роботи	04.06.23	Виконано
6	Здача пояснювальної записки на рецензування	10.06.23	Виконано
7	Підготовка доповіді		

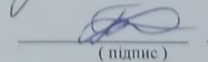
Студент


(підпис)

Каган О.З.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

доц. Борецька І.Б.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота містить 48 сторінок пояснювальної записки, 33 рисунки, 15 використаних джерел, 1 додаток.

Розроблено систему автоматизованого проектування безпілотної засобами SolidWorks/SolidWorks Flow Simulation. У роботі створено 3D модель безпілотної, проведено дослідження параметрів та траєкторії потоків повітря, які виникають під час польоту, здійснено оптимізацію всіх компонентів для подальшого виготовлення безпілотної, наведено перелік необхідної проектної документації та інструкції по виготовленню безпілотної за допомогою 3D друку. Для розроблення програми обрано середовище тривимірного проектування SolidWorks/SolidWorks Flow Simulation, яке широко використовується у розробці різного роду САПР і має велику кількість розроблених елементів та засобів. Дане програмне забезпечення вибрано через його функціональну зрозумілість та кросплатформенність.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, безпілотної, аеродинаміка, метод скінчених елементів.

ABSTRACT

The thesis contains 48 pages of explanatory notes, 33 pictures, 15 sources used, 1 appendix .

The system of aided design of drone has been developed using SolidWorks/SolidWorks Flow Simulation. In this work was created a 3D model of the drone, the parameters and trajectory of air flows that occur during flight were studied, all components were optimized for the further manufacture of the drone, a list of the necessary project documentation and manufacturing instructions for the drone using 3D printing.

In order to develop an aided system, the three-dimensional design SolidWorks/SolidWorks Flow Simulation where chosen, which is widely used in developing various kinds of CAD and has developed a large number of components and tools. This software was selected because of its functional clarity and cross-platform functionality.

Keywords: computer aided design, drone, aerodynamics, finite element method.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Розробити систему автоматизованого проектування безпілота засобами SolidWorks, яка міститиме:

- 3D моделі компонентів та складання безпілота;
- дослідження параметрів та траєкторії потоків повітря, які виникають під час польоту безпілота, за допомогою модуля Flow Simulation;
- оптимізацію всіх компонентів для подальшого виготовлення безпілота з використанням адитивних технологій, наприклад, використання 3D;
- підбір матеріалів для виготовлення безпілота.

Результатом дипломної роботи має бути:

- 3D модель безпілота;
- перелік необхідної проектної документації;
- аеродинамічні показники під час моделювання його руху;
- інструкції по виготовленню безпілота за допомогою 3D друку.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1. Класифікація безпілотних літальних апаратів	11
1.2. Категорії безпілотних літальних апаратів	16
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	19
2.1. Будова безпілотного літального апарату.....	19
2.2. Принцип роботи безпілотних літальних апаратів	22
2.3. Компонувальні схеми безпілотних літальних апаратів.....	24
2.4. Розрахунок польоту безпілотних літальних апаратів.....	25
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	28
3.1. Створення 3D моделі безпілотника.....	28
3.2. Дослідження аеродинаміки крила безпілотника.....	39
3.3. Підготовка моделі під 3D друк.....	43
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	49
ДОДАТКИ	51

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БПЛА – безпілотний літальний апарат.

ББЛА – бойовий безпілотний літальний апарат.

САПР – Система автоматизованого проектування.

SW – SolidWorks (середовище графічного програмування).

CAD – Computer aided design (комп'ютерна підтримка проектування).

CAM – Computer aided manufacturing (комп'ютерна підтримка виготовлення).

CAE – Computer aided engineering (підтримка інженерних розрахунків).

GPS – Global Positioning System (Система глобального позиціонування).

RTH – Return to Home (повернення до точки зльоту).

FM – Follow Me (прямувати за оператором).

ESC – Electronic Speed Controller (електронні регулятори обертів).

ВСТУП

Зростання інтересу до безпілотників останніми роками стало наслідком значного розвитку технологій, таких як мініатюрні сенсори, ефективні акумулятори, автономні системи навігації та зв'язку. Ці досягнення сприяють широкому застосуванню безпілотників у різних сферах, починаючи від військових дій і закінчуючи цивільними. Безпілотники можуть виконувати завдання швидше і ефективніше, порівняно з традиційними методами. Вони здатні до автономного руху, точного позиціонування та виконання завдань у важкодоступних або небезпечних місцях.

Застосування безпілотників може допомогти уникнути підвищеного ризику для людей у небезпечних ситуаціях, таких як війна, рятувальні операції під час стихійних лих, інспекція небезпечних споруд тощо. Вони можуть працювати на великих висотах, в районах з високим рівнем радіації або інших шкідливих умовах, зменшуючи ризик для життя та здоров'я людей.

Безпілотні літальні апарати використовуються для розробки та застосування штучного інтелекту, такого як машинне навчання та комп'ютерне зорове сприйняття. Вони вимагають розробки алгоритмів для автономної навігації, виявлення та розпізнавання об'єктів, прийняття рішень на основі зібраних даних тощо. Ці технології і алгоритми дозволяють безпілотникам функціонувати без прямого управління оператором, забезпечуючи їм здатність самостійно приймати рішення та виконувати завдання.

Предмет дослідження – параметри, що впливають на аеродинаміку безпілотників

Об'єкт дослідження – розроблена та спроектована 3D модель компонентів та складання безпілотника у реальному масштабі, яка буде використана для детального аналізу її аеродинамічних характеристик та проведення необхідних досліджень.

Мета роботи – спроектувати та дослідити безпілотник та отримати відповідні аеродинамічні показники.

Практичне значення отриманих результатів – на базі прийнятих конструкторських та технологічних рішень, створено конструкцію безпілота, тривимірні моделі для підтвердження працездатності та відпрацювання технологій.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ

Безпілотний літальний апарат є компактним літальним апаратом, який складається з чотирьох пропелерів, які забезпечують його рух у повітрі.

БПЛА (безпілотний літальний апарат) є технічним пристроєм, що може летіти без прямого пілотування. Такі апарати також відомі як дрони або UAV (Unmanned Aerial Vehicle). БПЛА можуть мати різні розміри, від невеликих мультироторних квадрокоптерів до великих багатороторних апаратів або навіть літаків. Вони зазвичай оснащені різноманітними сенсорами, камерами та іншими пристроями для збору даних або виконання конкретних завдань.

БПЛА широко застосовуються у різних галузях, включаючи військову, цивільну, комерційну та наукову сфери. Вони можуть використовуватись для зйомки повітряних фото- та відеоматеріалів, нагляду та моніторингу, картографування, пошуку та рятування, досліджень, сільськогосподарських застосувань та багатьох інших завдань.

Важливо відзначити, що використання БПЛА регулюється законодавством багатьох країн, оскільки потрібно дотримуватися правил безпеки, приватності та інших обмежень для забезпечення відповідності нормам та безпечному використанню цих апаратів.

Апарат має відповідну форму – його силует легко вписується в квадрат. При цьому по кутах квадрата розставлені пропелери, які порівну поділяють навантаження під час польоту. Тому рух залишається сталим, на поворотах безпілотник не обходиться без нахилу, а також може переносити великий вантаж (підвіс і камеру). Симетрична будова знижує ризик втратити рівновагу і стабільності у польоті.

Розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) продовжується швидким темпом і спостерігаються значний прогрес у їх технологіях та можливостях. Ось кілька ключових напрямків розвитку БПЛА:

– Збільшення автономності: БПЛА стають все більш самостійними та здатними приймати рішення в режимі реального часу. Розробники працюють над

розширенням їхніх здатностей до автономного навігації, уникнення перешкод, виконання складних завдань і взаємодії з іншими БПЛА.

– Покращення датчиків та обробки даних: Удосконалення сенсорної технології та обробки даних дозволяє БПЛА отримувати більш точну і детальну інформацію. Це сприяє покращенню якості зображень, збільшенню дальності дії, здатності виявлення об'єктів та аналізу отриманих даних.

– Розширення застосування: БПЛА знаходять все більше застосувань у різних галузях, включаючи транспорт, логістику, медицину, охорону довкілля, дослідження клімату, пошуки та рятування, агропромисловість та багато інших. Їхні можливості стають все ширшими, дозволяючи вирішувати складні завдання більш ефективно та економічно.

– Забезпечення безпеки та приватності: Розробники та регулятори активно працюють над забезпеченням безпеки використання БПЛА та захисту приватності. Це включає розробку систем виявлення збоїв, антиспамерних технологій,

Інформація, що дозволяє виявляти та визначати місцезнаходження БПЛА, може бути отримана за допомогою радіолокаційних або радіоакустичних засобів, які сприймають відбите та випромінюване електромагнітне та акустичне випромінювання у всіх діапазонах спектру. БПЛА видають як електромагнітні, так і акустичні коливання, що створюються ними.

1.1. Класифікація безпілотних літальних апаратів

Аналітики зарубіжних військових кіл у своїх дослідженнях використовують сучасні функціональні методи класифікації, що ґрунтуються на виявленні відмінностей між бойовими безпілотними літальними апаратами (ББЛА) та БПЛА забезпечення. Ці відмінності, як показано на рисунку 1.1, стають ключовими факторами для класифікації цих двох категорій.

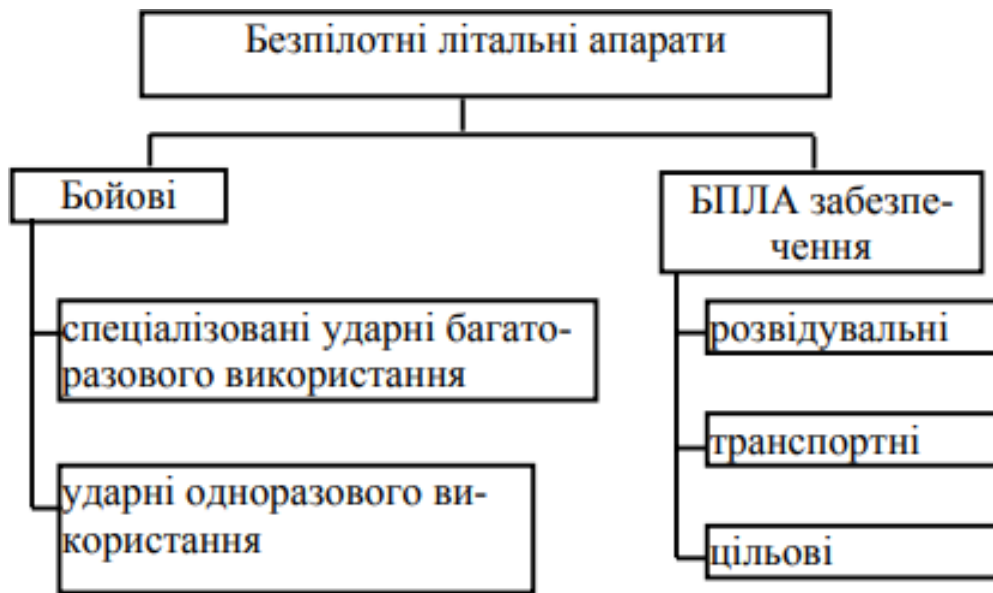


Рисунок 1.1 – Класифікація безпілотної системи

Безпілотні літальні апарати забезпечення (БЛА-забезпечення) відносяться до категорії безпілотних аеродромних систем, які не виконують безпосередніх бойових завдань, а забезпечують підтримку і функціональну підтримку для бойових безпілотних літальних апаратів (ББЛА) або інших безпілотних систем.

БЛА-забезпечення включають в себе різноманітні компоненти, системи та інфраструктуру, які підтримують ефективну роботу ББЛА. Вони можуть включати земні контрольні станції, комунікаційні системи, програмне забезпечення для управління, системи збору та аналізу даних, системи передачі інформації, системи навігації та інші компоненти, необхідні для успішної операції ББЛА.

Безпілотні літальні апарати забезпечення виконують такі функції, як надання зв'язку та командного управління з ББЛА, збір та аналіз даних, передача інформації між ББЛА та землею, навігація та контроль маршруту польоту, виконання метеорологічних та технічних спостережень, моніторинг стану ББЛА та їх обслуговування, реалізація систем безпеки та багато іншого.

БЛА-забезпечення є важливою складовою інфраструктури безпілотних систем і грають ключову роль у забезпеченні успішної та надійної роботи ББЛА. Вони сприяють збільшенню автономності, надійності та ефективності використання безпілотних систем у різних сферах.

При використанні безпілотних літальних апаратів забезпечення, вони можуть виконувати різноманітні завдання, такі як:

1. Комунікація та зв'язок: БЛА-забезпечення забезпечують надійний зв'язок між ББЛА та землею. Вони можуть передавати команди, отримувати дані, передавати відео та іншу інформацію, що дозволяє операторам ефективно керувати і контролювати ББЛА.

2. Збір та аналіз даних: БЛА-забезпечення можуть бути обладнані датчиками, камерами, радарами та іншими приладами для збору інформації з навколишнього середовища. Вони можуть здійснювати спостереження, зйомку або сканування території для отримання важливих даних, які потім можуть бути проаналізовані для різних цілей, таких як розвідка, картографування, моніторинг тощо.

3. Навігація та контроль маршруту польоту: БЛА-забезпечення включають системи навігації, що дозволяють точно визначати місцезнаходження ББЛА, виконувати планування маршруту польоту та контролювати його в процесі польоту. Це дозволяє забезпечити точність, безпеку та ефективність операцій ББЛА.

4. Обслуговування та технічний моніторинг: БЛА-забезпечення можуть включати системи для моніторингу

5. Безпека та захист: БЛА-забезпечення відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки польотів безпілотних літальних апаратів. Вони можуть включати системи виявлення перешкод, автоматичні системи уникнення зіткнень, захисні механізми від хакерських атак або несанкціонованого доступу.

6. Моніторинг стану та обслуговування ББЛА: БЛА-забезпечення можуть включати системи для моніторингу стану безпілотних літальних апаратів, включаючи діагностику, ремонт та обслуговування. Це допомагає забезпечити надійну роботу ББЛА та попередити можливі поломки або несправності.

7. Ефективне використання ресурсів: БЛА-забезпечення можуть включати системи для ефективного використання ресурсів, таких як паливо або електроенергія. Вони можуть оптимізувати роботу ББЛА, зменшуючи витрати та підвищуючи тривалість польотів.

8. Інтеграція з іншими системами: БЛА-забезпечення можуть бути інтегровані з іншими системами, такими як системи моніторингу, управління або командного центру. Це дозволяє забезпечити взаємодію та синхронізацію даних між різними компонентами системи та покращити їх функціональність.

Бойові безпілотні літальні апарати (ББЛА) - це безпілотні аеродромні системи, призначені для виконання бойових завдань без участі пілота. Вони складаються з безпілотного літального апарату і системи управління, що дозволяють їм виконувати різноманітні завдання, включаючи розвідку, наведення ударів, нанесення авіаційного удару, встановлення спостережних постів та інші бойові операції.

ББЛА можуть бути різних розмірів і конфігурацій, від невеликих безпілотних літальних апаратів, що використовуються для наземного спостереження, до великих винищувачів-бомбардувальників з великою дальністю дії. Вони оснащені передовими сенсорами, комунікаційними системами та зброєю, що дозволяє їм виконувати різноманітні бойові завдання.

Використання ББЛА дозволяє зменшити ризик для людського життя, забезпечує більшу точність та ефективність виконання завдань, а також здатність працювати в умовах, що можуть бути небезпечними для пілотів. Однак вони також породжують нові виклики, пов'язані з безпекою, приватністю та етичними питаннями, які потребують уважного вирішення.

Бойові безпілотні літальні апарати (ББЛА) можуть бути використані в різних сферах, включаючи військові операції, безпеку та надзвичайні ситуації, дослідження та розвідку, цивільну авіацію та навколишнє середовище.

У військових операціях ББЛА використовуються для збору розвідувальної інформації, ведення спостереження над ворожою територією, наведення ударів, виконання місій по знищенню цілей та інші бойові завдання. Вони можуть бути впроваджені для здійснення прецизійних авіаційних ударів без ризику для життя пілотів.

У сфері безпеки та надзвичайних ситуацій ББЛА використовуються для моніторингу територій, виявлення пожеж, наслідків стихійних лих та надзвичайних

подій, пошуку та рятування, контролю за кордонами та інших завдань, які допомагають забезпечити безпеку населення.

У дослідницькій галузі ББЛА використовуються для збору наукових даних, вивчення кліматичних змін, моніторингу природних резерватів, лісів та земельних ділянок, картографування територій та інших дослідницьких завдань.

У цивільній авіації ББЛА можуть бути використані для вантажоперевезень, дистанційного моніторингу та інспекцій інфраструктури, аерофотограмметрії та картування, пошуку зниклих осіб та інших цивільних завдань.

Також важливим аспектом використання ББЛА є розвиток технологій автономного функціонування. Завдяки штучному інтелекту, алгоритмам навігації та високоточним сенсорам, ББЛА можуть здійснювати автономні маневри, приймати рішення на основі зібраної інформації та виконувати завдання без прямого втручання оператора.

Однак разом з перевагами, використання ББЛА також породжує ряд викликів і питань. Це включає проблеми з безпекою і кібербезпекою, ризик зловживання та незаконного використання, приватність та етичні аспекти використання безпілотних систем. Регулювання їх використання, стандартизація та розробка етичних принципів стають важливими аспектами для забезпечення безпеки та відповідального використання ББЛА.

У майбутньому очікується подальший розвиток технологій ББЛА, що сприятиме їх більш широкому застосуванню в різних сферах, включаючи військову, цивільну, наукову та комерційну діяльність. Інновації в області штучного інтелекту, автономних систем та сенсорних технологій продовжать сприяти розвитку та вдосконаленню ББЛА.

1.2. Категорії безпілотних літальних апаратів

Існує поділ БПЛА на різні категорії залежно від організаційних ознак та технічних ознак (рис. 1.23). Цей поділ не тільки відображає різні можливості гнучкого використання БПЛА, але й вимагає наявності комплексних систем.



Рисунок 1.2 – Класифікація безпілотника за організаційними ознаками

Також категорії безпілотників можна класифікувати наступним чином:

За розмірами:

1. Мікро-безпілотники: невеликі розміри, зазвичай вимірюються у десятках сантиметрів.
2. Міні-безпілотники: середній розмір, зазвичай вимірюються у метрах.
3. Макро-безпілотники: великі розміри, зазвичай вимірюються у десятках і сотнях метрів.

За типом:

1. Мультироторні безпілотні літальні апарати: мають багатороторну конструкцію і здатні стабільно триматися у повітрі.

2. Планерні безпілотні літальні апарати: мають конструкцію, що дозволяє їм планувати в повітрі без активного руху роторів.

3. Фіксованокрильні безпілотні літальні апарати: мають фіксовані крила і летять на основі аеродинамічних зусиль.

За дальністю польоту:

1. Близької дії безпілотні літальні апарати: призначені для невеликих відстаней, зазвичай до кількох кілометрів.

2. Середньої дії безпілотні літальні апарати: здатні працювати на відстані декількох десятків кілометрів.

3. Дальньої дії безпілотні літальні апарати: можуть працювати на значні відстані, включаючи сотні і навіть тисячі кілометрів.

За режимом польоту:

1. Автономні безпілотні літальні апарати: здатні до самостійного польоту та виконання місій без прямого керування з боку оператора.

2. Телекеровані безпілотні літальні апарати: керуються оператором через безпроводне зв'язку з використанням пульта керування або комп'ютера.

За спеціальним призначенням:

1. Доставка: безпілотні літальні апарати, які використовуються для доставки товарів або медичних препаратів.

2. Дослідження: безпілотні літальні апарати, які використовуються для проведення наукових досліджень, спостережень або вимірювань.

3. Пожежогасіння: безпілотні літальні апарати, які використовуються для виявлення та гасіння пожеж.

4. Розвідка та нагляд: безпілотні літальні апарати, які використовуються для розвідки, нагляду або збору розвідувальної інформації.

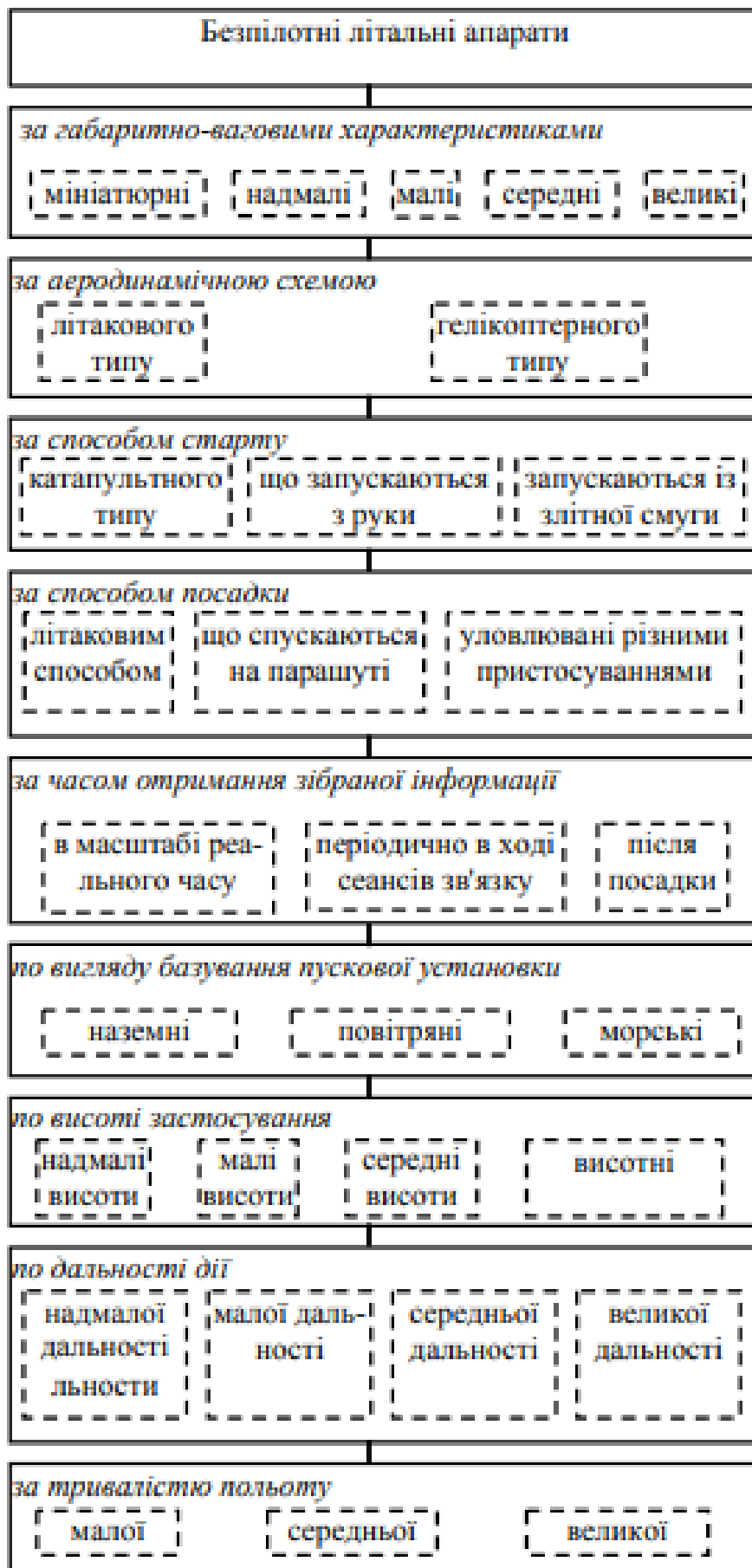


Рисунок 1.3 – Класифікація безпілотних літальних апаратів за технічними ознаками.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1. Будова безпілотного літального апарату

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) складається з різних компонентів, які працюють разом для забезпечення його функціональності та можливості виконання завдань. Основні компоненти будови БПЛА включають:

Фюзеляж – це основна структура БПЛА, яка містить всі інші компоненти і системи. Фюзеляж може бути виготовлений з легких композитних матеріалів, що забезпечує йому високу міцність та мінімальну вагу.

Крила – забезпечують підтримку та підйомну силу для БПЛА під час польоту. Вони можуть мати різні конфігурації, такі як прямокутні, крилові лопатки або еліптичні, залежно від типу та призначення БПЛА.

Рухові контролери. Ці компоненти включають елерони, рульові поверхні, приводи крену, рулювання та висоти. Вони використовуються для зміни напрямку, кута атаки та висоти БПЛА під час польоту.

Механізм стабілізації. БПЛА може мати систему автостабілізації, яка допомагає підтримувати стабільний політ і компенсувати вплив зовнішніх факторів, таких як вітер або турбулентність.

Двигуни. БПЛА оснащений одним або кількома двигунами, які забезпечують тягу для польоту. Двигуни можуть бути електричними, пневматичними або запалюваними внутрішнього згорання, залежно від типу БПЛА та його завдань.

Система живлення. Ця система забезпечує енергію для роботи всіх компонентів БПЛА. Живлення може бути забезпечене батареями, паливними елементами, генераторами або сонячними панелями, в залежності від типу та тривалості польоту БПЛА.

Система навігації. Безпілотники використовують різні системи для навігації та визначення своєї позиції у просторі. Це можуть бути GPS-приймачі, інерціальні системи навігації, компаси, альтиметри та інші датчики.

Системи комунікації. Деякі безпілотники оснащені системами комунікації для передачі даних та отримання команд. Це можуть бути радіозв'язок, супутникові зв'язок або мережеві протоколи передачі даних.

Системи сенсорів. БПЛА використовують різні типи сенсорів для отримання інформації з навколишнього середовища. Це можуть бути камери, термальні зображення, радары, лазерні відстанціоміри, гіперспектральні сенсори та інші пристрої.

Бортовий комп'ютер: БПЛА має вбудований бортовий комп'ютер, який виконує обробку даних, керування системами, приймає рішення та керує польотом в автономному режимі або відповідно до команд оператора.

Крім основних компонентів, безпілотні літальні апарати можуть мати такі додаткові елементи як датчики для вимірювання погодних умов, системи виявлення перешкод, системи захисту та безпеки, апаратуру для передачі потоку даних в реальному часі та інші спеціалізовані системи залежно від призначення та застосування БПЛА.

Важливо зазначити, що будова та конфігурація безпілотних літальних апаратів можуть значно відрізнятись залежно від їх типу, розміру, призначення та вимог. Наприклад, дрони для розважального використання можуть мати компактну конструкцію з пропелерами, вбудованою камерою та простим управлінням через мобільний пристрій. У той же час, безпілотні літальні апарати, які використовуються військовими або дослідницькими організаціями, можуть мати складну систему з багатьма сенсорами, озброєнням, довгим часом польоту та високою стійкістю до екстремальних умов.

Усі ці компоненти та системи співпрацюють для забезпечення ефективного та безпечного функціонування безпілотного літального апарату. Розробка та вдосконалення будови БПЛА продовжується, що дозволяє досягати кращої продуктивності, збільшення часу польоту, поліпшення якості передачі даних та розширення можливостей застосування в різних галузях.

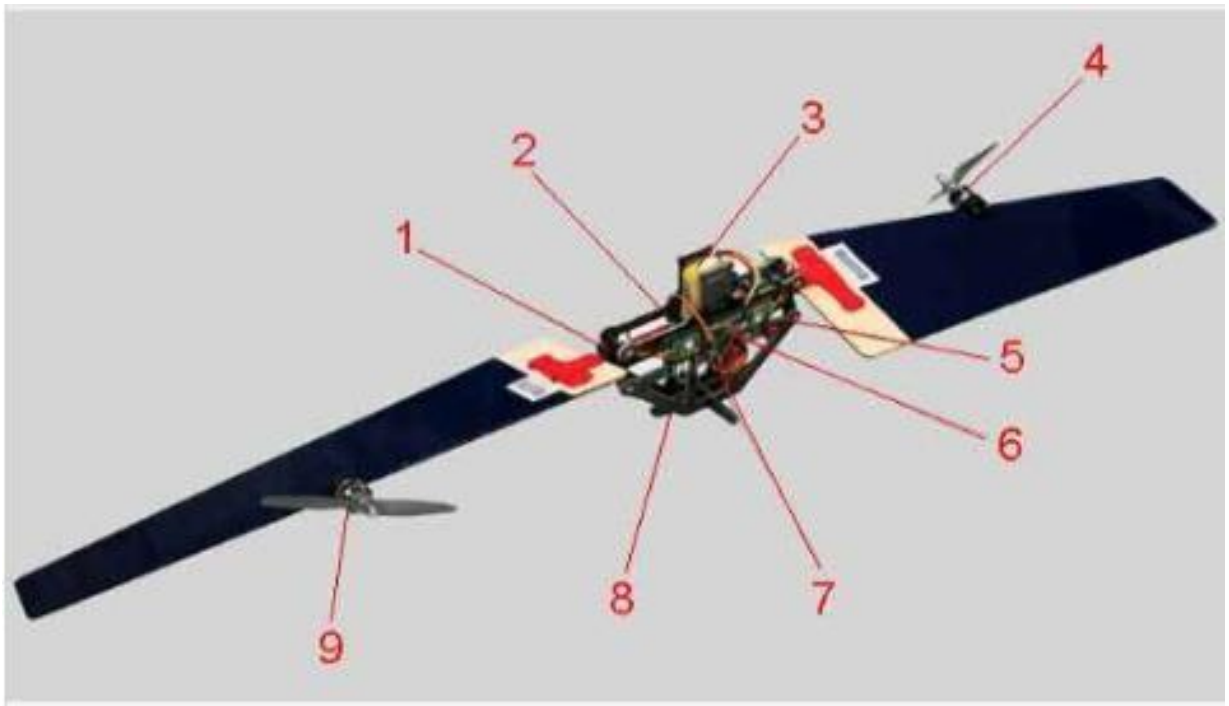


Рисунок 2.1 – Конструкція безпілотного літального апарату (THOR):

1 – підшипник; 2 – привід; 3 – акумулятор; 4,9 – мотори; 5 – електронний контроль стійкості;
6 – контролер польоту; 7, 8 – датчики.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) використовує двигуни, регулятори та пропелери для здійснення польоту. Регулятори відповідають за контроль швидкості БПЛА, дозволяючи задавати бажану швидкість літаючого апарата. Акумулятор є джерелом енергії для живлення двигуна, а також інших компонентів безпілотника. Він постачає електричну енергію, необхідну для роботи двигуна та інших елементів БПЛА. Комерційні та споживчі БПЛА контролюються за допомогою пульта управління, тоді як у випадку військових апаратів можуть використовуватись як пульт управління, так і супутникові системи для навігації та керування.



Рисунок 2.2 – Конструкція безпілотного літального апарату

1, 2, 3 – силові двигуни та гвинти; 4 – карданний підвіс; 5 – активна камера;
6 – відсік з батареєю живлення; 7 – лапа.

2.2. Принцип роботи безпілотних літальних апаратів

Принцип роботи безпілотного літального апарата (БПЛА) базується на взаємодії різних компонентів і систем, які працюють разом для забезпечення контролю, навігації та виконання місії. Основні етапи роботи БПЛА можуть бути описані наступним чином:

1. Планування місії: Оператор або автономна система визначає цілі та вимоги місії, включаючи маршрути, точки спостереження, завдання та інші параметри.

2. Початок польоту: БПЛА стартує зі стартової площадки або іншої платформи, такої як катапульта або ручний запуск. У цьому етапі активуються системи безпеки, перевіряються параметри польоту та здійснюється підготовка до навігації.

3. Навігація: Система навігації, яка може включати GPS, компаси, барометри, акселерометри та інші датчики, визначає місцезнаходження, орієнтацію та шлях

БПЛА в просторі. Це дозволяє встановити точні координати та контролювати руху літального апарата.

4. Керування: Бортовий комп'ютер або автопілот аналізує навігаційні дані, вхідні сигнали та план місії для прийняття рішень щодо керування. Він контролює двигуни, кермувальні поверхні та інші системи для забезпечення потрібних маневрів та тримання заданої траєкторії.

5. Збір та обробка даних: БПЛА може бути оснащений різними сенсорами, такими як камери, теплові датчики, радары тощо, для збору інформації про довкілля. Отримані дані з сенсорів передаються до бортового комп'ютера, де вони обробляються та аналізуються. Це може включати обробку зображень, виявлення об'єктів, розпізнавання патернів, вимірювання відстаней та інші обчислювальні завдання.

6. Виконання місії: Залежно від призначення БПЛА, він може виконувати різні дії в рамках місії. Це може включати спостереження, фотографування, картографування, пошук та рятування, доставку вантажів, дослідження, патрулювання та інші функції.

7. Контроль зв'язку: Безпілотники можуть підтримувати зв'язок з наземними станціями або іншими БПЛА для обміну даними, отримання команд керування та передачі зібраних інформацій. Це забезпечує оператору або командному центру можливість контролювати БПЛА та отримувати потрібну інформацію в режимі реального часу.

8. Завершення польоту: Після виконання місії або при настанні умов для повернення, БПЛА здійснює процедуру посадки або приземлення. Це може бути автоматичний або керований процес, залежно від можливостей конкретного БПЛА.

Принцип роботи безпілотного літального апарата включає постійне взаємодію різних систем та компонентів для забезпечення безпечного та ефективного польоту, виконання місій та збору необхідної інформації. Кожна модель БПЛА може мати свою специфіку та особливості, проте загальний принцип роботи безпілотного літального апарата залишається схожим. Важливими аспектами роботи БПЛА є

надійність систем, точність навігації, висока якість збору та обробки даних, а також можливість автономної роботи або командного керування.

Завдяки автоматизованому принципу роботи, безпілотники можуть виконувати завдання в умовах, які можуть бути небезпечними або недосяжними для пілотованих повітряних апаратів. Вони знаходять застосування в багатьох галузях, включаючи військову, геодезичну, моніторингову, аграрну, рятувальну та інші сфери.

Принцип роботи БПЛА постійно розвивається, і сучасні безпілотники стають все більш складними, вдосконаленими та здатними до виконання різноманітних завдань. Вдосконалення сенсорів, алгоритмів обробки даних, комунікаційних технологій та енергоефективності дозволяють БПЛА працювати з великою точністю, ефективністю та безпекою.

У цілому, принцип роботи безпілотного літального апарата полягає в автономному або командному керуванні, навігації, зборі та обробці даних для виконання специфічних місій та завдань. Це дозволяє використовувати безпілотники у широкому спектрі застосувань для покращення ефективності, безпеки та продуктивності в різних галузях.

2.3. Компонувальні схеми безпілотних літальних апаратів

Більшість сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) використовують компонентувальні схеми, які включають наступні основні компоненти:

1. Бортовий комп'ютер: Центральний обчислювальний пристрій, який керує всіма операціями БПЛА. Він виконує обробку даних, навігацію, керування системами та прийняття рішень на основі вхідних даних з сенсорів.

2. Система навігації: Включає в себе GPS (глобальна система позиціонування) та інші супутникові системи позиціонування, що дозволяють визначати місцезнаходження та орієнтацію БПЛА в просторі.

3. Система керування: Відповідає за керування повітряними керувальними поверхнями, двигунами та іншими системами управління для забезпечення стабільного польоту, зміни напрямку та висоти.

4. Система передачі даних: Включає в себе безпроводові засоби зв'язку, такі як радіо, супутниковий зв'язок або мережі зв'язку землі-повітря. Ця система дозволяє передавати дані між БПЛА та наземними станціями, включаючи команди керування, відео, фотографії та іншу інформацію.

5. Система сенсорів: Включає в себе камери, теплові датчики, радары, лазерні вимірювачі відстаней та інші пристрої для збору різних типів даних. Ці дані використовуються для виявлення об'єктів, спостереження, картографування, розвідки та виконання різних завдань залежно від призначення БПЛА.

6. Живлення: Зазвичай БПЛА живляться від батарей або паливних елементів, таких як літій-полімерні акумулятори або паливні джерела, наприклад, горюча акумуляторна система. Це забезпечує енергію для всіх систем БПЛА під час польоту.

7. Автопілот: Це програмне забезпечення, яке виконує автоматизоване управління БПЛА на основі попередньо заданих команд або плану польоту. Автопілот контролює навігацію, стабілізацію, безпеку польоту та інші аспекти роботи БПЛА.

8. Пейлоад: Це обладнання або навантаження, яке перевозиться БПЛА для виконання специфічних завдань. Приклади пейлоаду включають високоякісні камери та камери відеозйомки, датчики дистанційного зондування, комунікаційне обладнання, системи детекції та інші спеціалізовані пристрої.

9. Враховуючи широкий спектр завдань, які можуть бути виконані безпілотними літальними апаратами, компоновальні схеми можуть варіюватися в залежності від моделі та призначення конкретного БПЛА. Такі схеми дозволяють досягати ефективного управління, точності та надійності в роботі безпілотників.

2.4. Розрахунок польоту безпілотних літальних апаратів

Розрахунок польоту безпілотного літального апарату (БПЛА) включає в себе ряд параметрів та факторів, які потрібно враховувати. Основні етапи розрахунку польоту включають:

Планування місії: Визначення цілей польоту, маршруту та тривалості польоту, а також збір інформації про місцеві обмеження, такі як правила повітряного руху, метеорологічні умови та зони обмеженого доступу.

Навігація: Використання систем навігації, таких як GPS (Глобальна система позиціонування) або інерціальні системи, для визначення положення та шляху БПЛА під час польоту.

Керування польотом: Визначення параметрів польоту, таких як швидкість, висота, кут нахилу та кут атаки, що необхідні для досягнення бажаного маршруту та цілей польоту. Використання автопілота або програмного забезпечення для керування БПЛА з метою автоматизації польоту.

Розрахунок маси та палива: Врахування маси самого БПЛА, навантаження, акумуляторів або палива, що впливає на тривалість польоту та дальність.

Безпека польоту: Оцінка ризиків та прийняття заходів безпеки, таких як уникнення перешкод, забезпечення безпеки польоту в разі виникнення непередбачених ситуацій або втрати зв'язку.

Моніторинг та збір даних: Забезпечення контролю та збору даних під час польоту для подальшого аналізу та використання відповідно до цілей місії.

Розрахунок безпілотного літального апарату (БПЛА) включає в себе ряд формул і співвідношень, що використовуються для визначення різних параметрів польоту.

Швидкість (V): Швидкість БПЛА може бути розрахована, використовуючи формулу подолання шляху за певний час. Наприклад, $V = S/t$, де V – швидкість, S – відстань, t – час.

Тяга (T): Тягу можна розрахувати, використовуючи формулу, яка враховує масу апаратури, опору повітря і прискорення. Формула $T = m \cdot a$, де T – тяга, m – маса, a – прискорення.

Потужність (P): Потужність можна обчислити, використовуючи співвідношення між тягою та швидкістю. Формула $P = T \cdot V$, де P – потужність, T – тяга, V – швидкість.

Висота (h): Висоту можна визначити за допомогою формули залежності атмосферного тиску від висоти. Наприклад, використовуючи формулу гідростатичного тиску $P = P_0 \cdot \exp(-g \cdot h / (R \cdot T))$, де P – тиск, P_0 – початковий тиск, g – прискорення вільного падіння, h – висота, R – універсальна газова стала, T – температура.

Динаміка польоту: Для розрахунку польоту можуть використовуватися формули, що описують динаміку руху, такі як швидкість $V = ds/dt$ (де ds – зміна шляху, dt – зміна часу) і прискорення $a = dv/dt$ (де dv – зміна швидкості).

Енергетика: Для розрахунку енергетичних аспектів польоту можуть використовуватися формули, які пов'язані з потужністю (P), енергією (E) та витратою палива (F). Наприклад, $P = E/t$ (де t – час), або $F = E/E_{\text{specific}}$ (де E_{specific} – специфічна енергія палива).

Аеродинаміка: Для визначення аеродинамічних характеристик БПЛА можуть застосовуватися формули, які враховують параметри, такі як площа крила (S), коефіцієнт опору повітря (C_d), щільність повітря (ρ) та швидкість (V). Наприклад, опір повітря $F_d = 0.5 \cdot C_d \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$.

Ці формули є лише загальними прикладами і можуть бути використані залежно від конкретних характеристик та параметрів безпілотного літального апарату. Детальніші формули та співвідношення будуть залежати від конкретного типу БПЛА та виконуваних місій.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1. Створення 3D моделі безпілота

Провівши дослідження у сфері розроблення безпілотників, зокрема аналізуючи відкриті проекти, було спроектовано 3D модель безпілота (рис. 3.1).

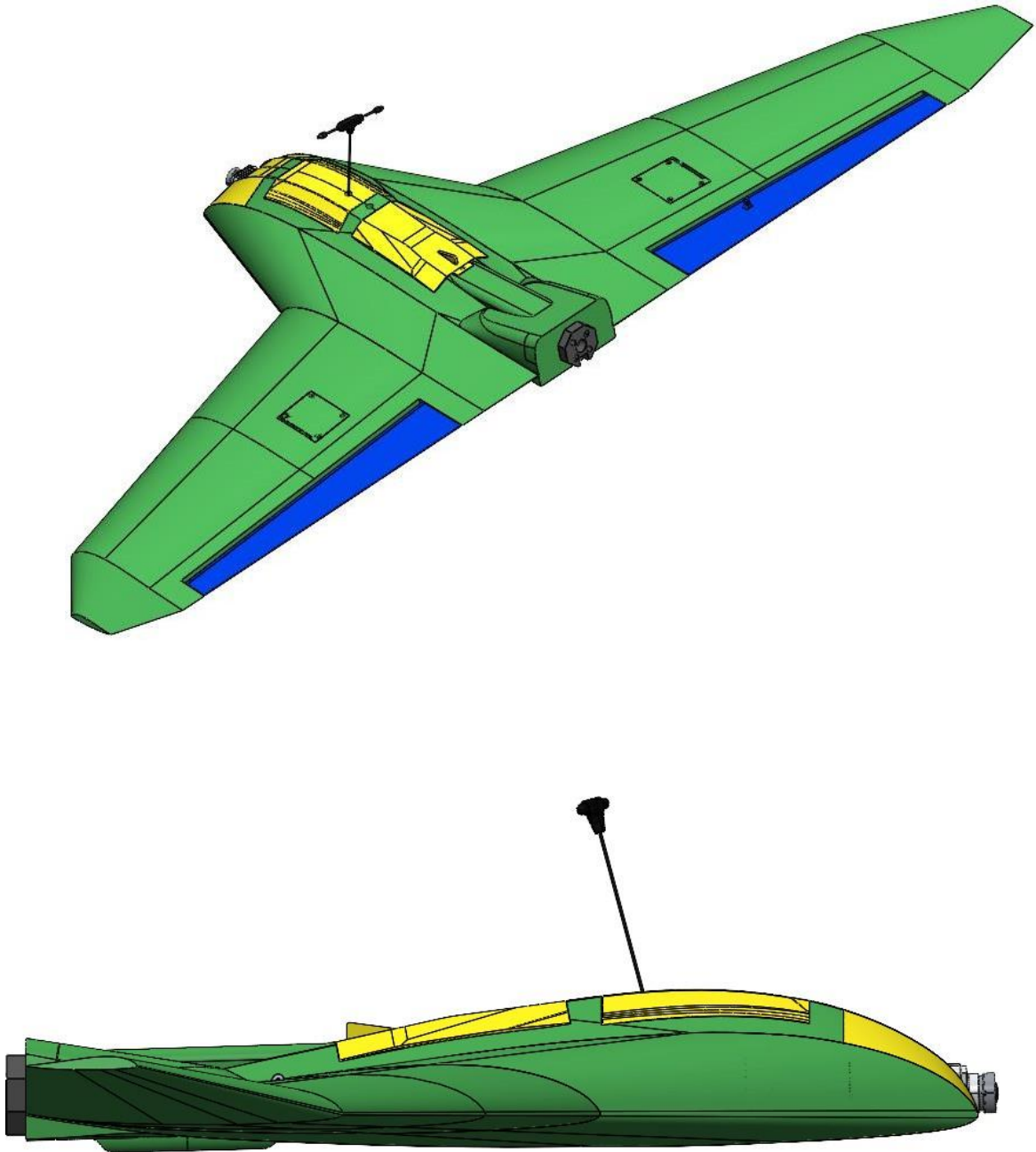


Рисунок 3.1 – 3D модель складання безпілота

Складання безпілота складається із 40 компонентів, як це ілюструє функція Assembly Visualization (рис. 3.2)

File Name	Quantity	Mass
5g servo	1	3.64
big_win_1	1	558.82
big_win	1	1135.52
Battery	1	87.82
DJI FPV Air Unit f...	1	9.61
DJI FPV Camera ...	1	6.79
ESC_RACERSTAR...	1	5.46
F60PRO IV V2.0	1	6.99
Fin5	1	283.13
kronstain2	1	0.26
Mirrorkronstain2	1	0.26
Motor mount 7...	1	7.07
part10_servo_ha...	1	0.09
part6_shaft	1	1.87
part8_my servo	1	3.64
Part1	1	303.10
Part4	1	579.49

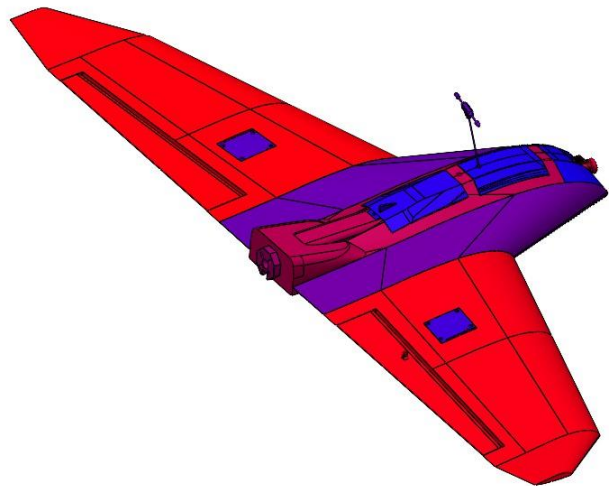


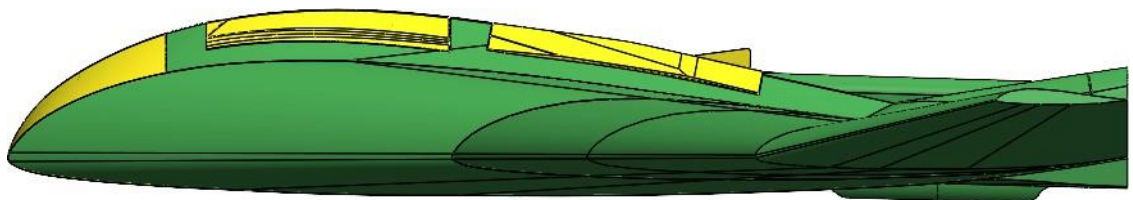
Рисунок 3.2 – Візуалізація кількісних та масових характеристик складання
безпілотної літака

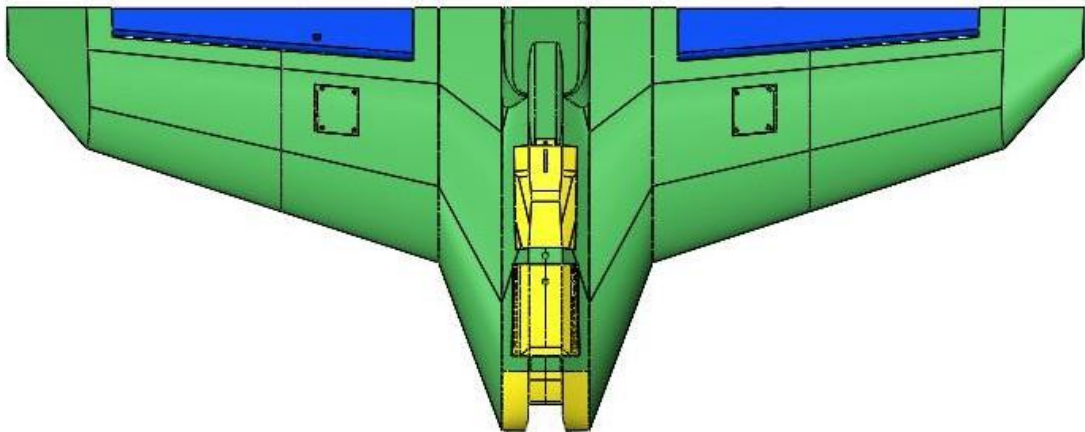
Складання містить такі типові компоненти як:

- електромотор;
- сервопривід;
- акумулятори.

Дані компоненти детально розглядати не будемо, оскільки всю інформацію було отримано із їхньої документації (Data Sheet).

Розглянемо загальні вигляди корпусу безпілотної літака (рис. 3.3).





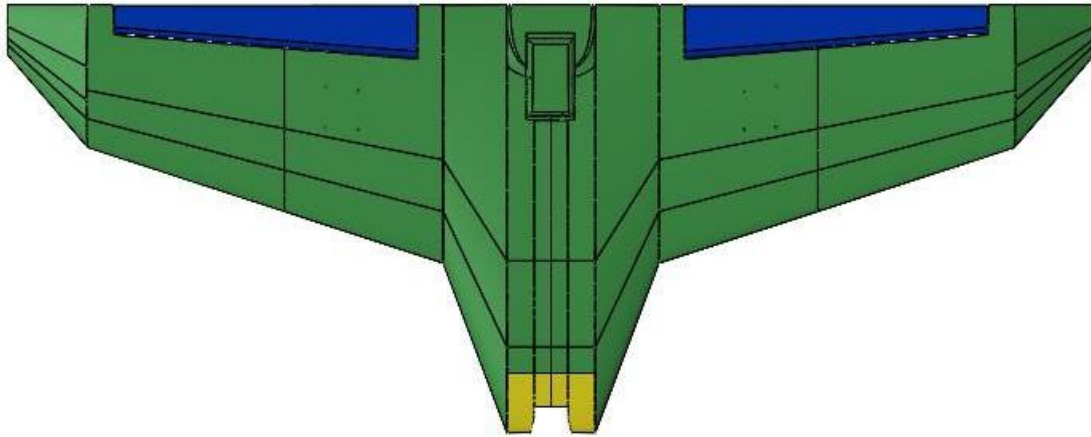


Рисунок 3.3 – Загальні вигляди корпусу спроектованого безпілотної

Корпус проектувався, відштовхуючись від розмаху крил майбутнього безпілотної, а саме 850 мм (рис. 3.4).

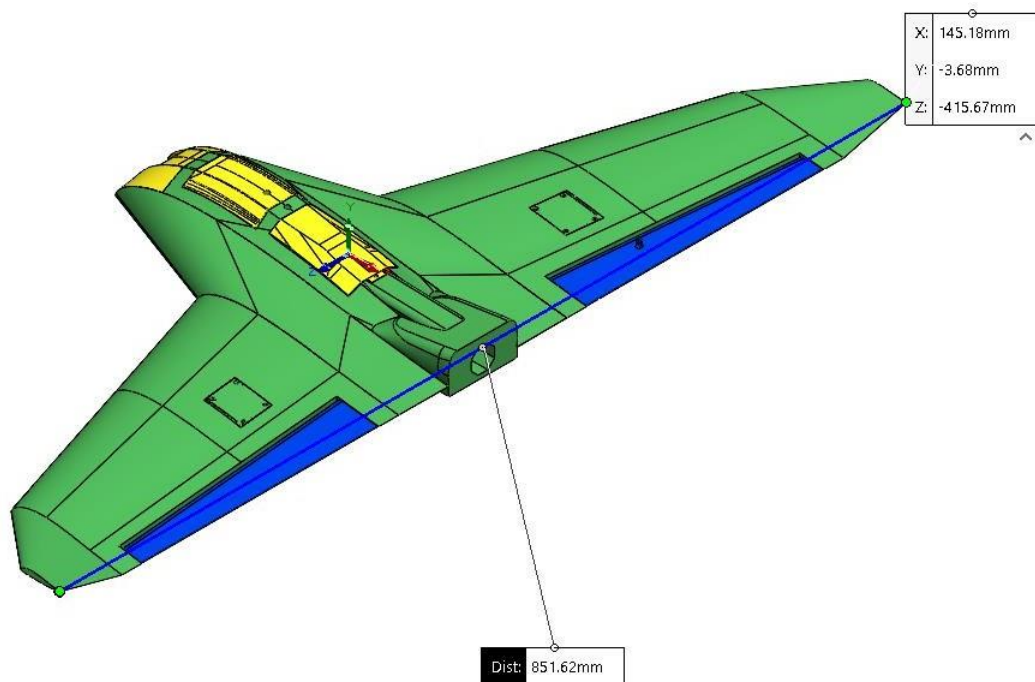


Рисунок 3.4 – Розмах крил безпілотної

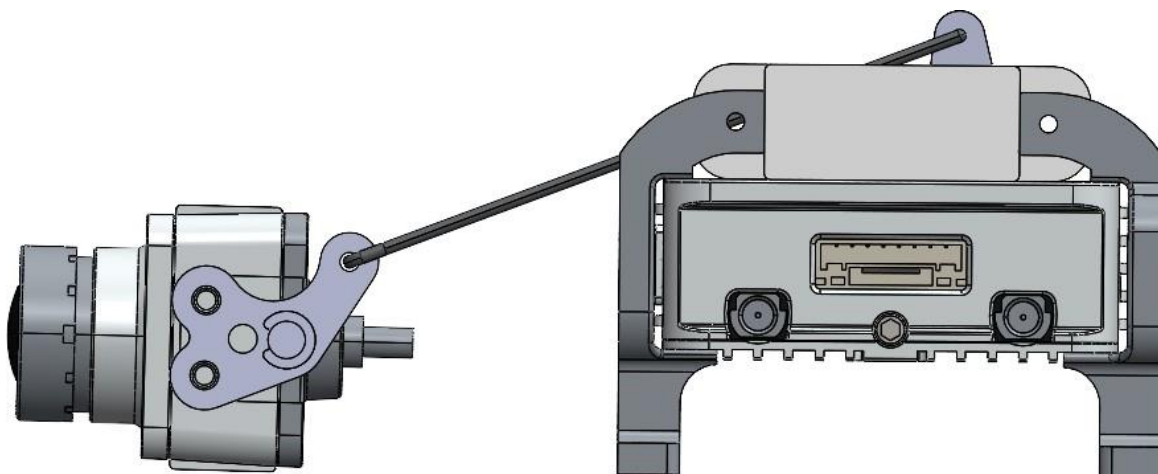
Форма накладалась на креслення існуючих моделей і проектувалася за допомогою поверхневого моделювання та проєкційних кривих, в результаті

отримано, як покаже дослідження у пункті 3.2. хороший конструктив із високими аеродинамічними показниками.

Наступною задачею було ергономічне розміщення компонентів у безпілотнику. Почнемо із носу і рухатимемось до його хвоста. У носі безпілотника ми маємо розмістити камеру та модуль управління. Для цього нам необхідно виконати два завдання:

- зафіксувати модуль та камеру
- спроектувати зручний монтаж даних компонентів

Загальна конструкція і функціональність камери показана на рис. 3.5. Управління поворотом камери здійснюється за допомогою сервоприводу, який змінює кут камери за допомогою тяги.



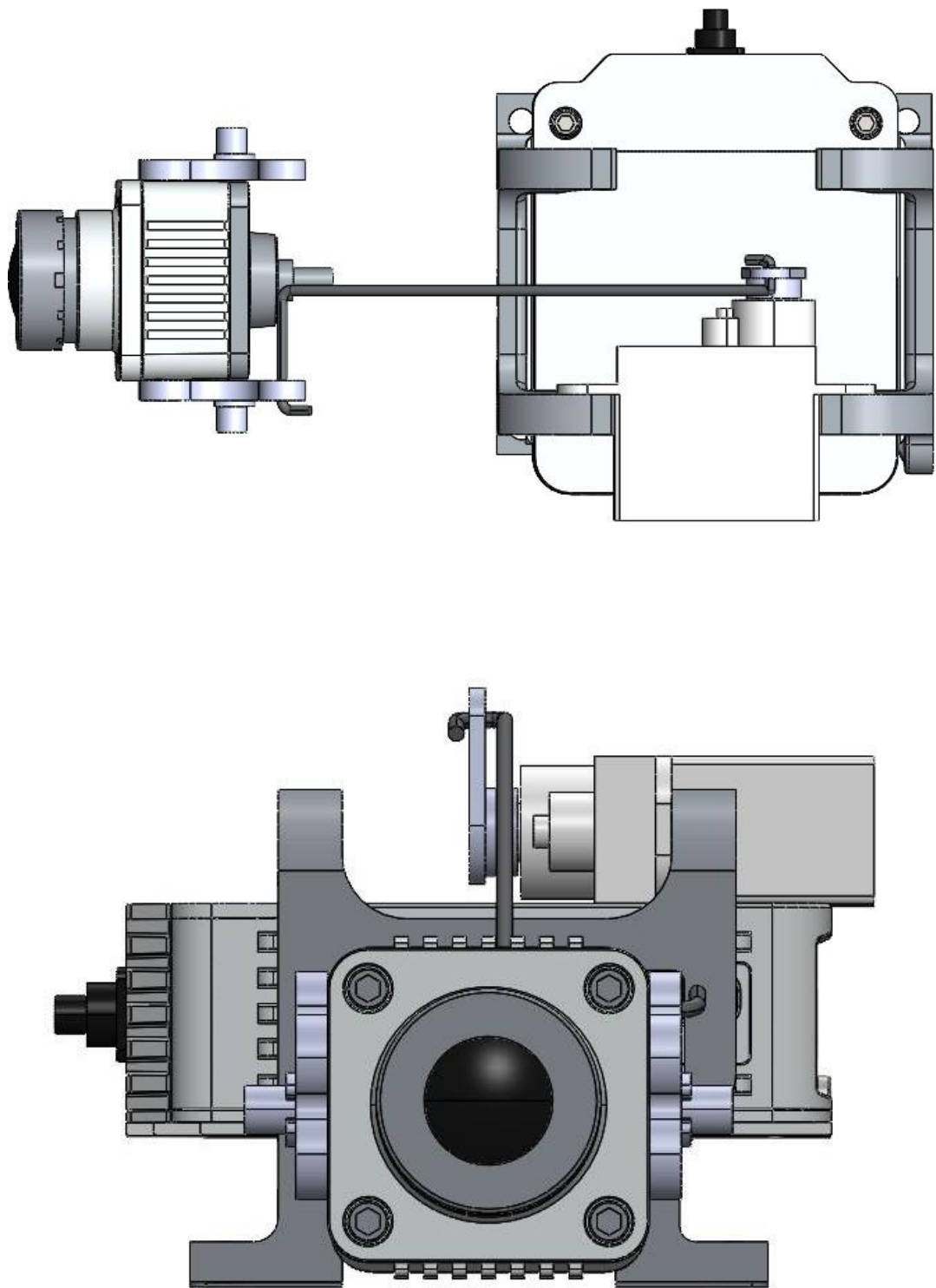


Рисунок 3.5 – Модуль камери

За допомогою функції Markup виділимо спроектовані елементи кріплення камери та модуля управління (рис. 3.6). Усі елементи проектувалися із врахуванням головного правила – це те, що маса безпілотнока має бути якомога меншою.

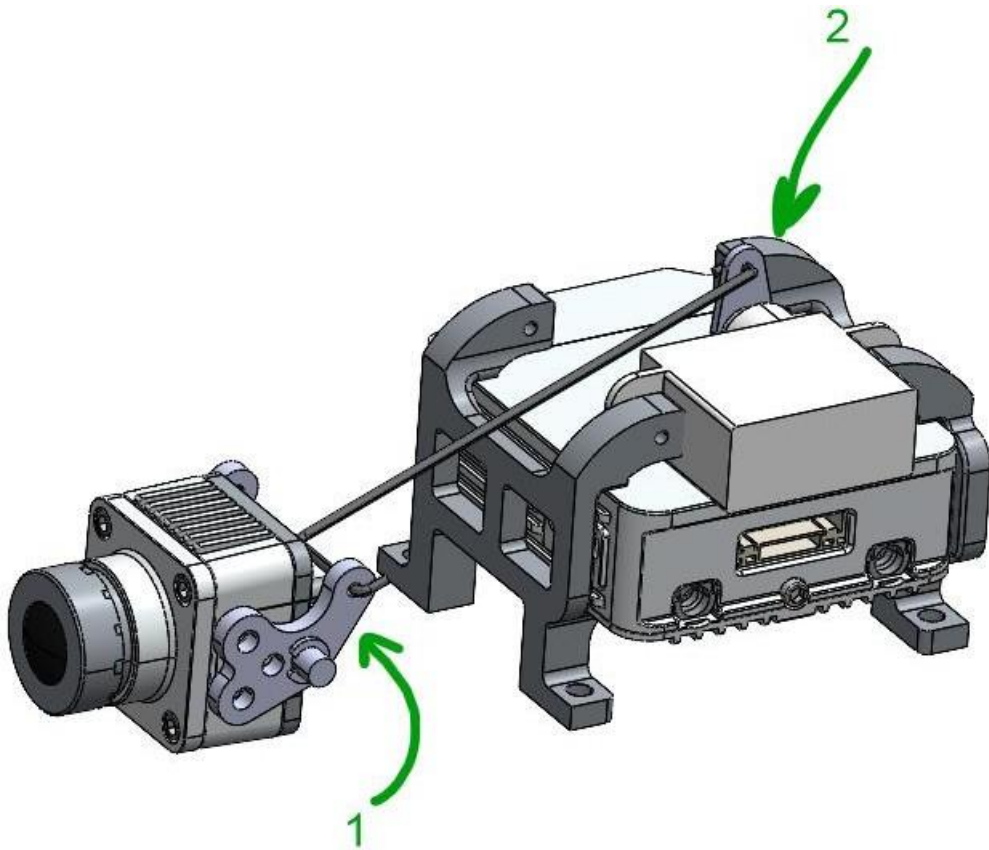


Рисунок 3.6 – Фіксатори для модуля камери

Тепер переходимо до монтажу даної конструкції у наш безпілотник, першим етапом було фіксування та монтаж камери у носовій частині безпілотника. Для цього було відокремлена його ніс та розроблено фіксатори для камери, при тому необхідно передбачити, що камера буде повертатися (рис. 3.7.).

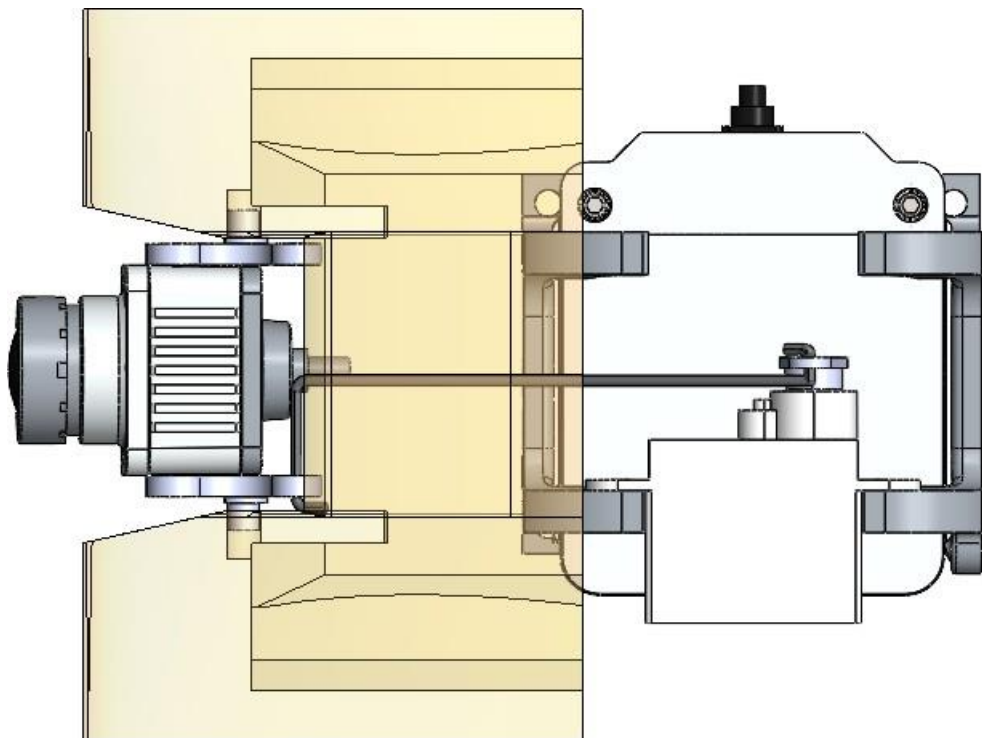
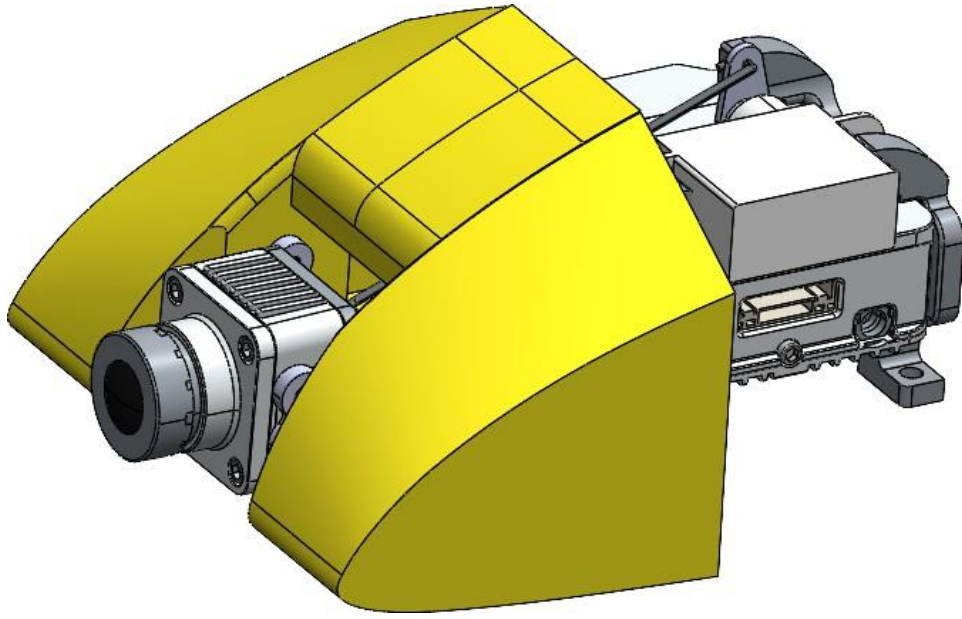


Рисунок 3.7 – Розміщення та фіксування компонентів модуля камери

Важливою задачею стало ергономічне розміщення та фіксування електронних компонентів у корпусі безпілотної, при тому передбачити зручність при обслуговуванні, загальний вигляд показано на рис. 3.8.

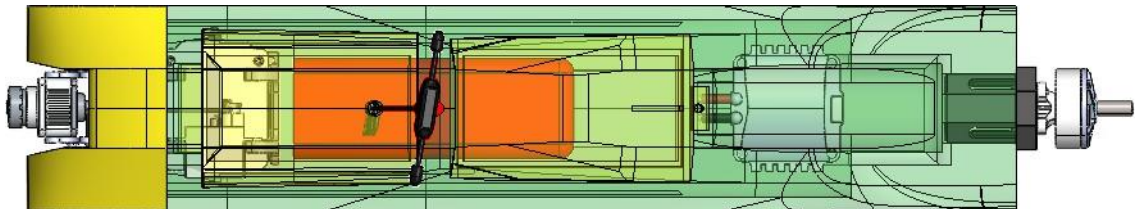
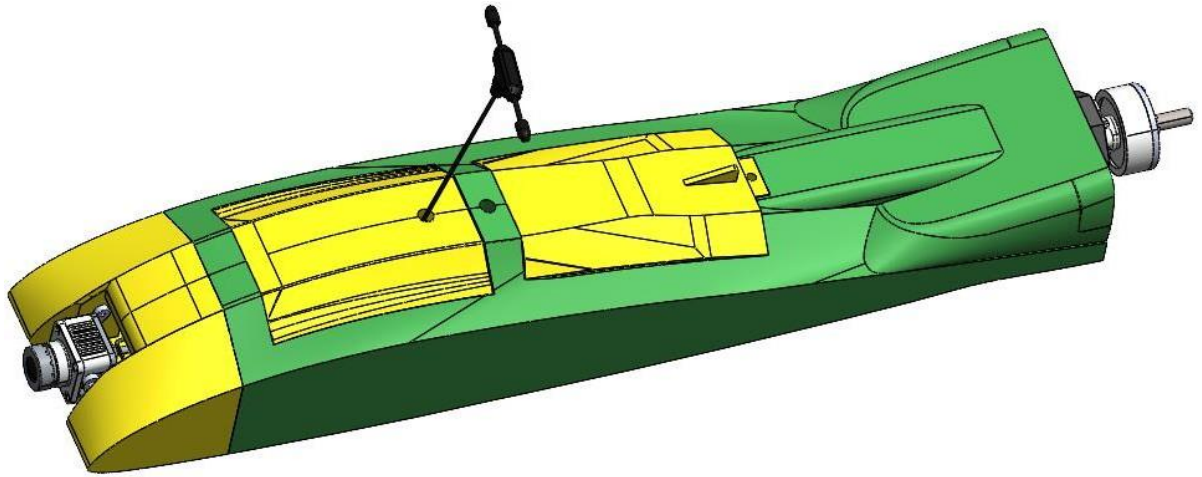


Рисунок 3.8 – Корпус із електронікою

Для зручного обслуговування передбачено два відділення, які закриваються кришками: 1 – відділення для обслуговування системи управління камерою; 2 – відділення для заміни батареї та обслуговування плати управління (рис. 3.9)

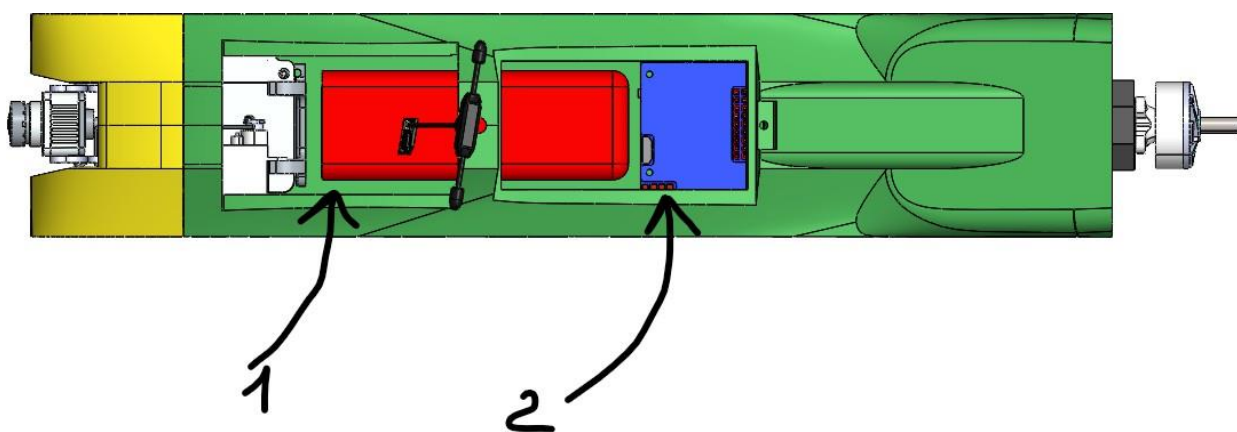


Рисунок 3.9 – Відділення для осліговування електроніки безпілотнока

Загальний вигляд кришок показано на рис. 3.10. Для кращої аеродинаміки вони мають оптікуючу форму.

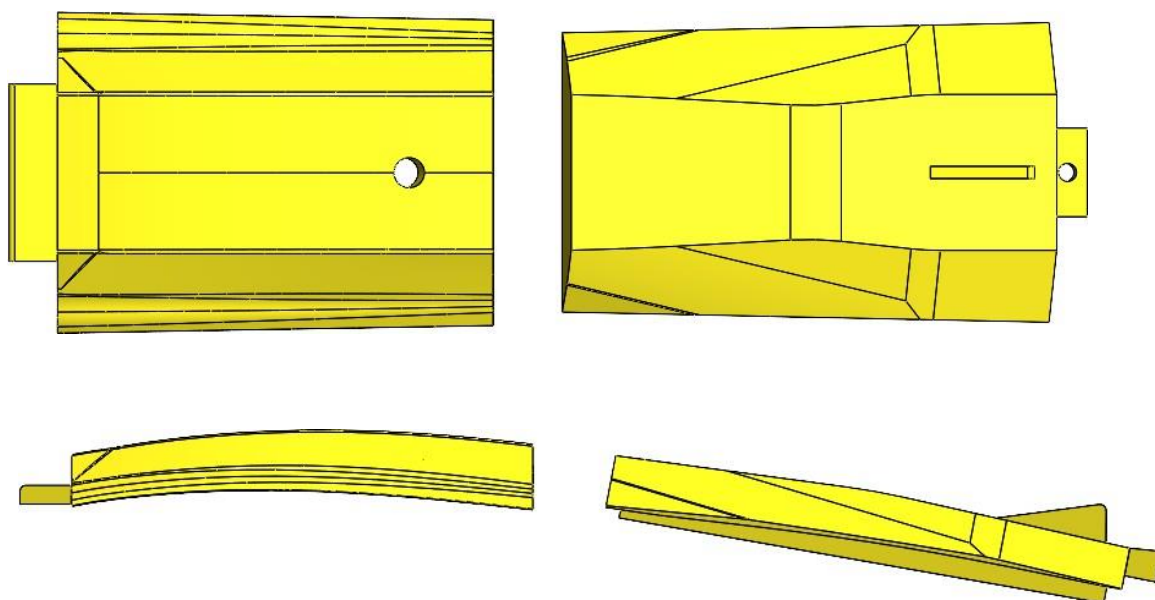


Рисунок 3.10 – Кришки від відсіків для обслуговування електроніки безпілотнока

Важливим завданням є управління елеронами, які керують креном літака. У нашому випадку це здійснюється за допомогою сервоприводу, який з'єднаний із елероном тягою. Сервопривід розміщено у крилі літака, задачею було спроектувати фіксатор для сервоприводу при тому не порушити кострукцію самого крила, що це не вплинуло на аеродинаміку безпілотнока в цілому. Фіксатори та розміщення сервоприводу показано на рис. 3.11 та 3.12 відповідно.

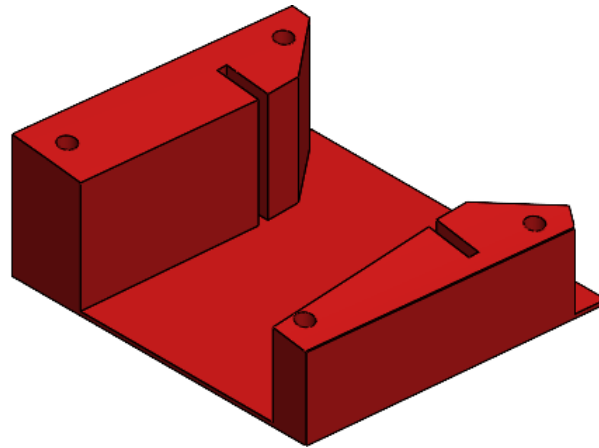


Рисунок 3.11 – Фіксатор сервоприводу

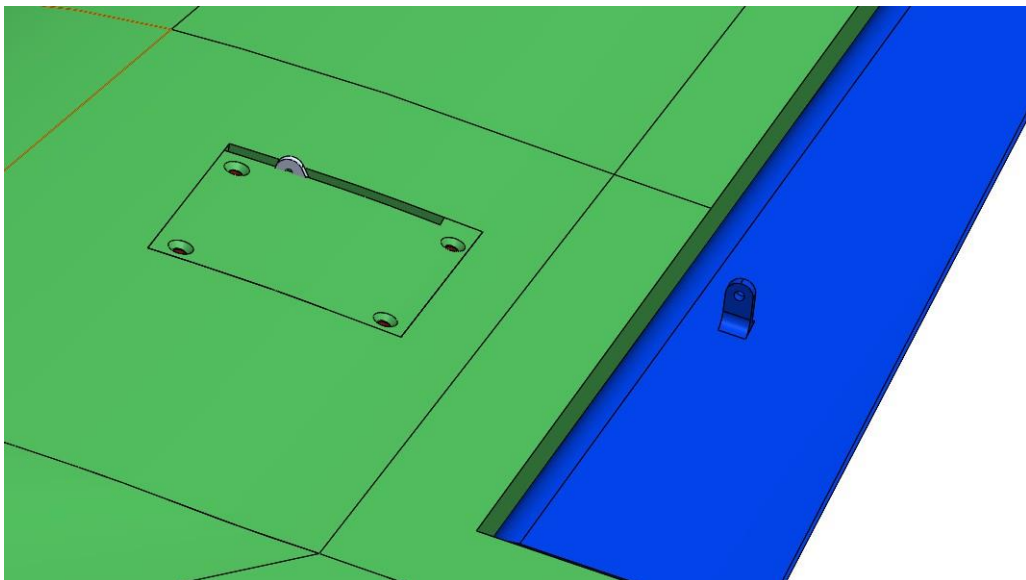


Рисунок 3.12. Посадкове місце під сервопривід

Одним із найважливіших етапів у даному проектуванні є робота над крило безпілотною. Щоб зрозуміти, як створюється підйомна сила, аналізується поперечний переріз крила та повітряний потік навколо крила. Такий вигляд крила в поперечному перерізі називається «аеропрофілем». Існує багато варіантів аеродинамічного профілю, кожен з яких забезпечує різні характеристики польоту. У нашому випадку було взято аеропрофіл у вигляді набору координат, які імпортували у Solidworks і отримали необхідну криву (рис. 3.13) та загальний вигляд нашого крила (рис. 3.14).

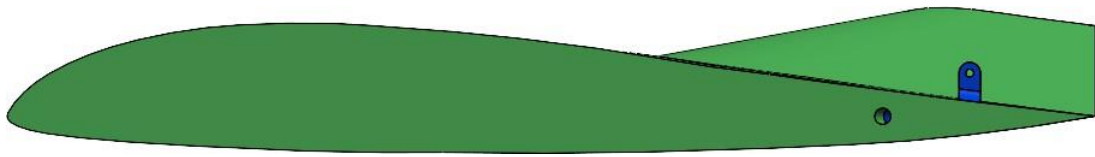


Рисунок 3.13 – Аеропротиль крила безпілотнока

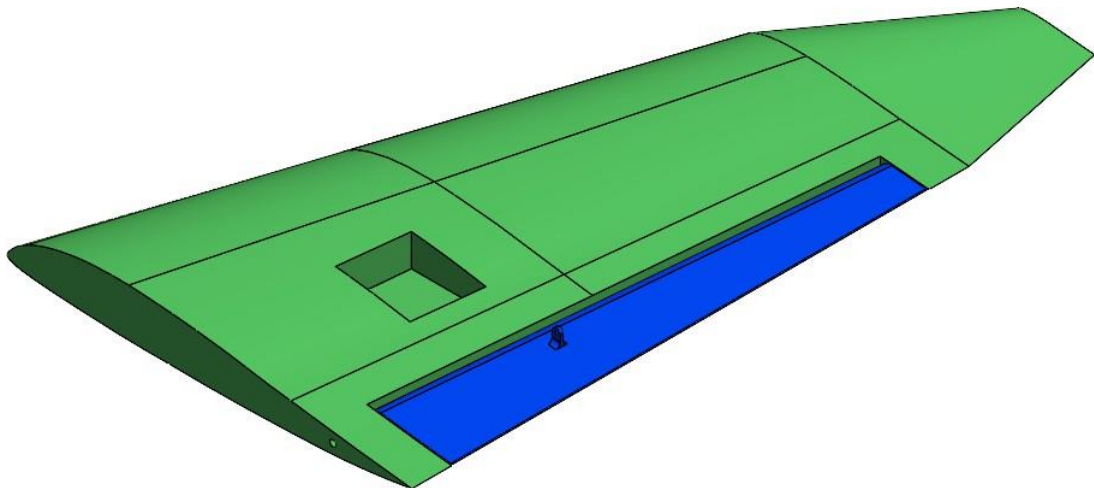


Рисунок 3.14 – Крыло безпілотнока

Результатом є спроектована 3D модель безпілотнока. Наступним визначимо його аеродинамічні характеристики та змодельємо процес його виготовлення за допомогою 3D друку.

3.2. Дослідження аеродинаміки крила безпілотнока

Опишемо, як правильно має функціонувати крило безпілотнока, щоб розуміти чи усе правильно спроектовано. Для початку покажемо, які області тиску мають виникати при дії повітряних потоків на крило безпілотнока (рис. 3.15).

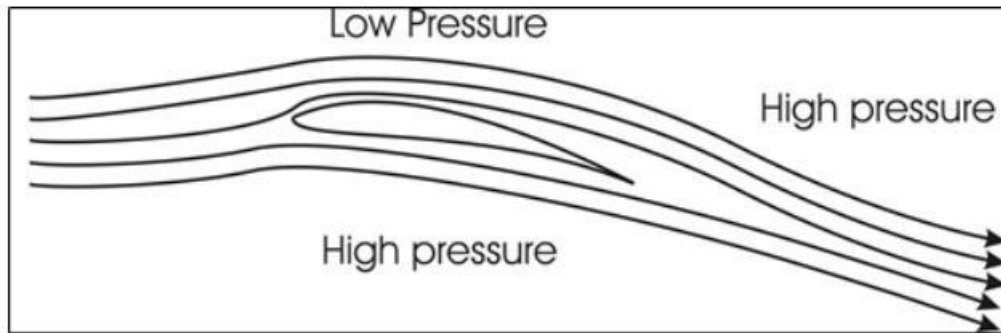


Рисунок 3.15 – Розподіл тиску по аеропрофілю крила

Як показано вище, профіль створює область низького тиску на верхній поверхні профілю та область високого тиску на нижній поверхні. Це викликано тим, що форма аеродинамічного профілю «повертає» потік вниз. У результаті повітряний потік над верхньою поверхнею створює область низького тиску, що змушує крило підніматися вгору. Для моделювання та аналізу аеродинаміки крила використаємо модуль FlowSimulation.

Першочергово визначаємо початкові умови (рис. 3.16) дослідження, а саме:

- тип задачі – зовнішня;
- час дослідження – 300 секунд із кроком 20 секунд;
- включаємо потоки і визначаємо напрямок дії (вісь X).

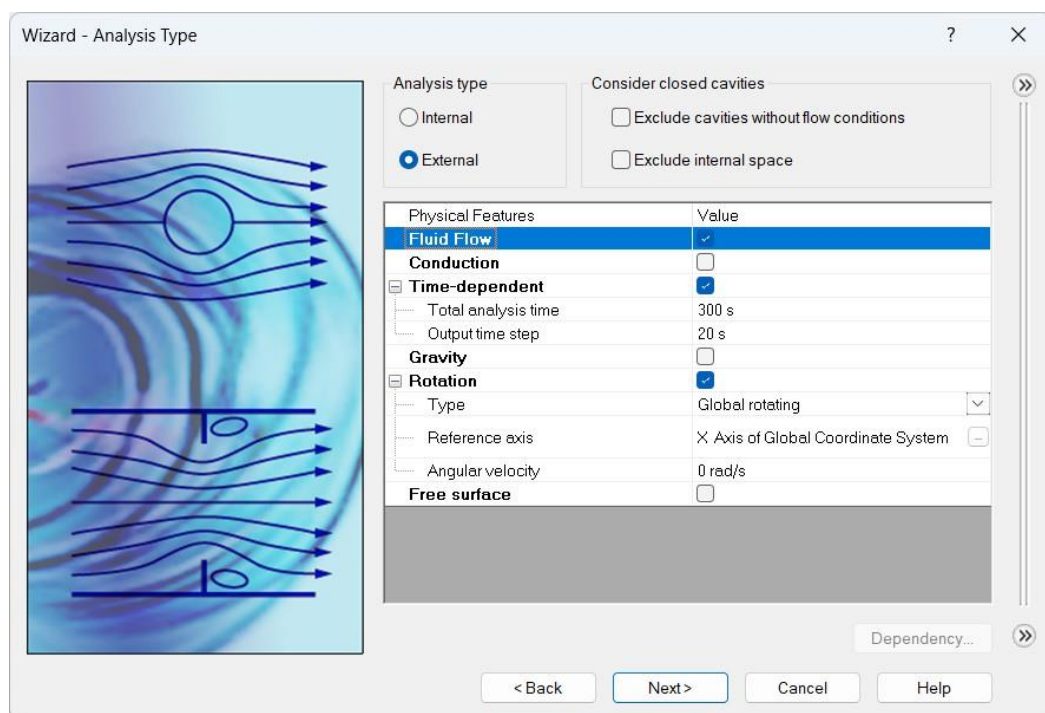


Рисунок 3.16 – Початкові умови

Визначимо середовище, у якому перебуває безпілотник, а саме, тип потоку залишаємо ламінарний і турбулентний, оскільки під час польоту безпілотника потоки переходять із одного типу в інший (рис. 3.17).

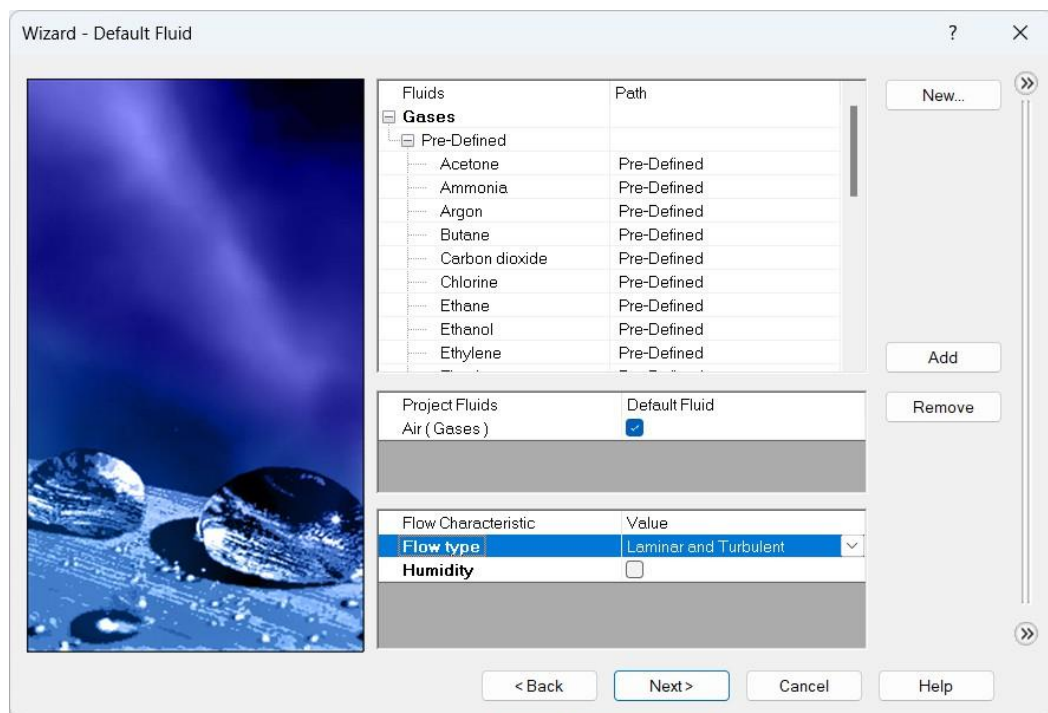


Рисунок 3.17 – Середовище для проведення експерименту

Визначимо початкові умови : температура середовища, тиск, швидкість руху корабля (рис. 3.18).

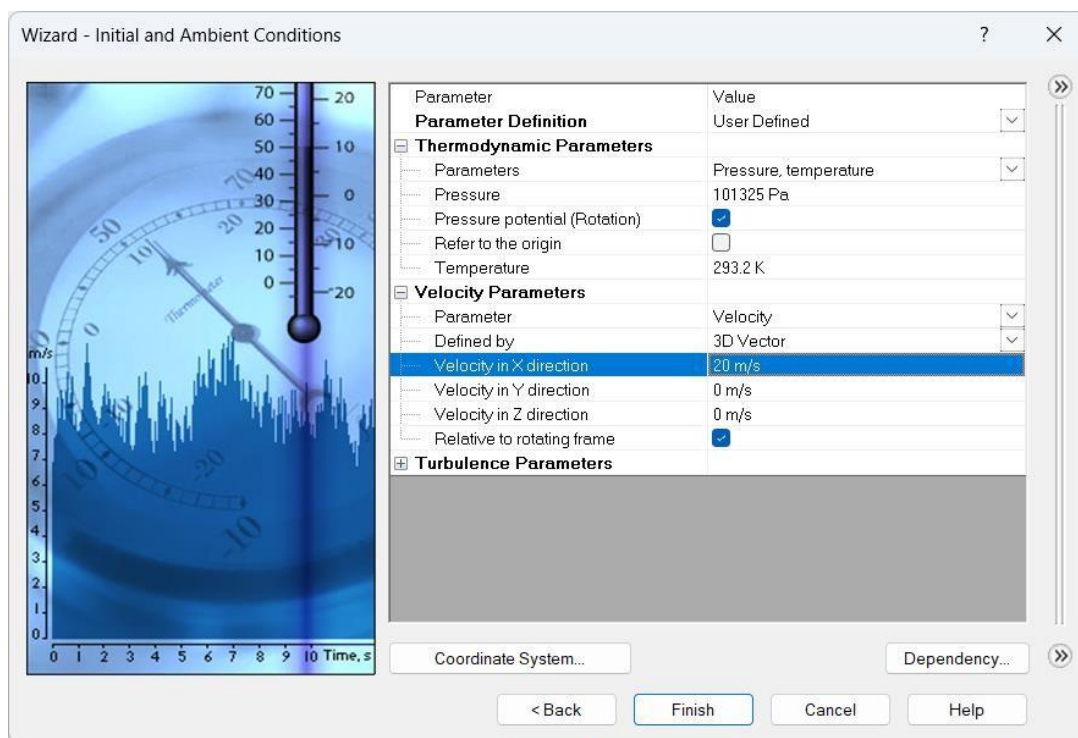


Рисунок 3.18 – Початкові умови середовища

Основні цілі нашого експерименту: визначення тиску, який виникає під час польоту (рис. 3.19).



Рисунок 3.19 – Цілі дослідження

Переходимо до етапу формування розрахункової сітки (рис. 3.20).

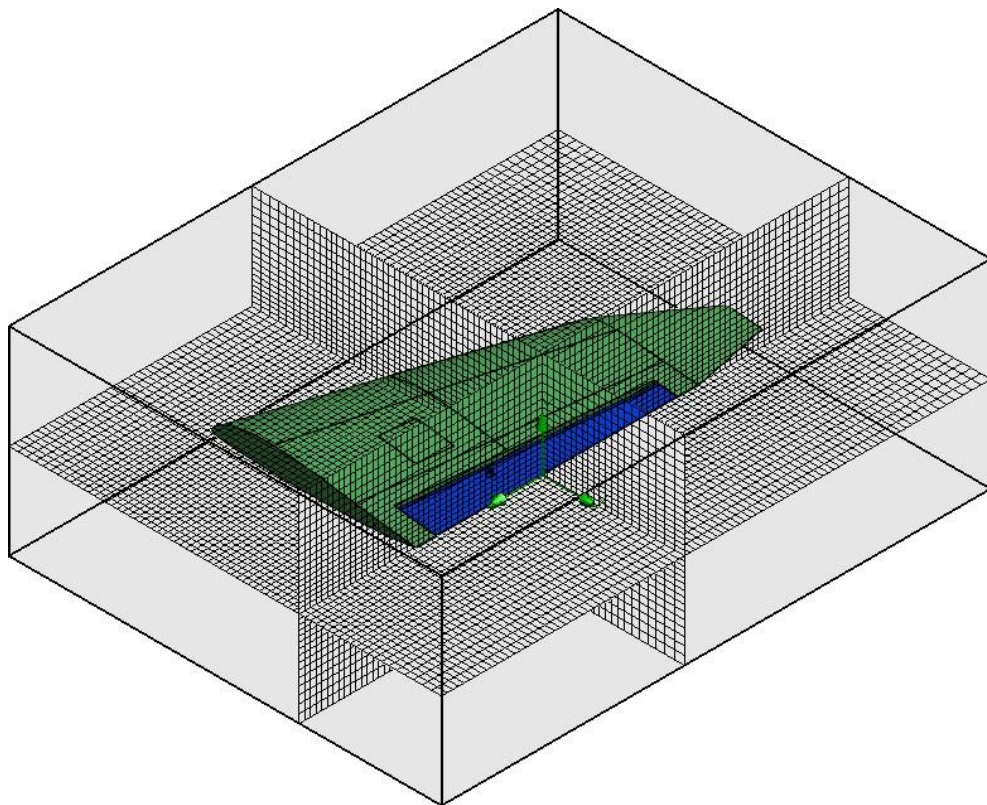


Рисунок 3.20 – Базова розрахункова сітка

Завершальним кроком є запуск моделювання та отримання проміжних (рис. 3.21) та кінцевих результатів його (рис. 3.22).

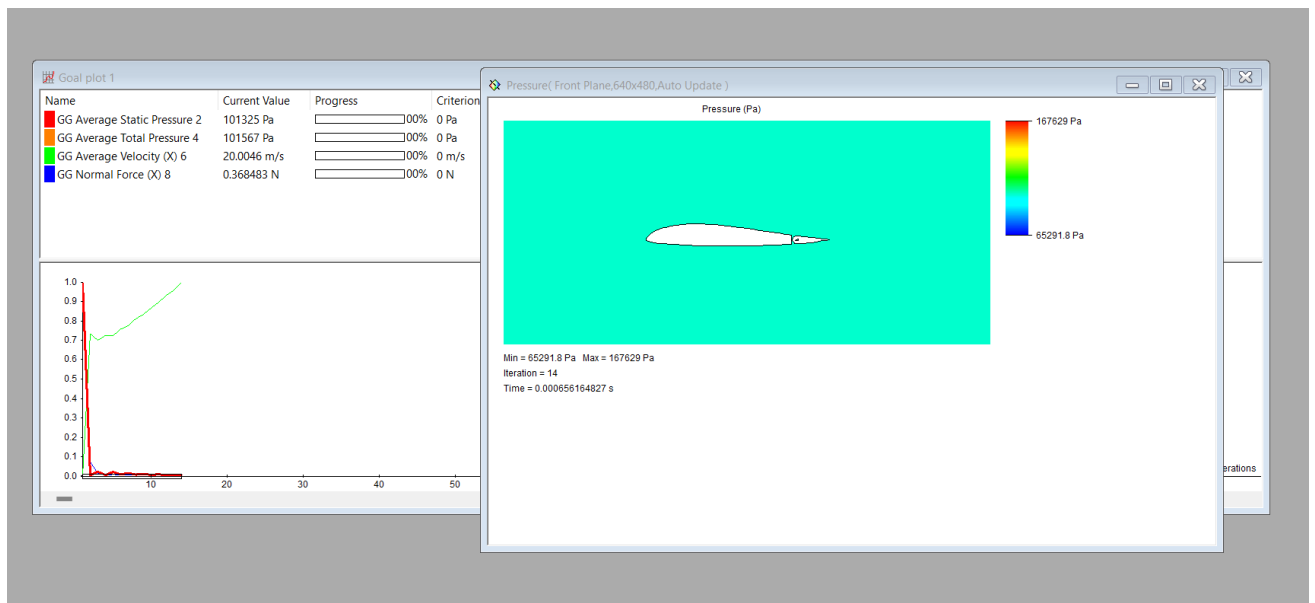


Рисунок 3.21 – Проміжні результати визначених цілей експерименту

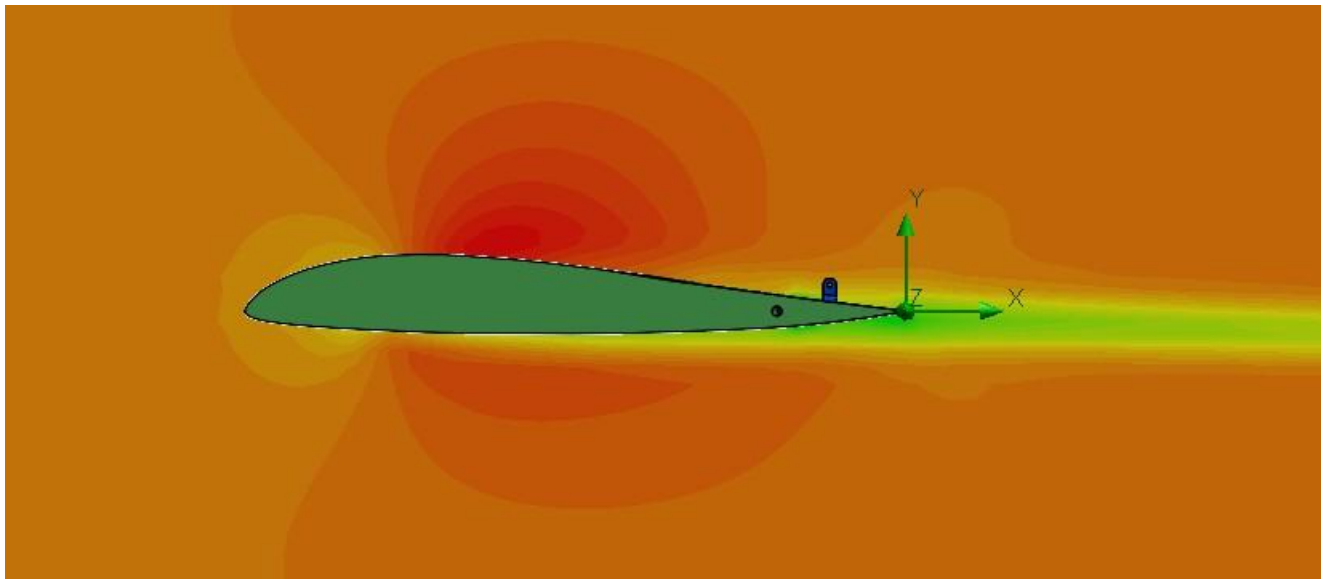


Рисунок 3.22 – Обтікання потоків

Отриманий результат аналізу поведінки крила при русі у повітряному потоці із швидкістю 20 м/с яскраво ілюструє, що підібраний аеропрофіль виконує свою функціональну задачу, а саме, зменшує тиск, тим самим забезпечує нормальний політ для спроектованого нами безпілотнока.

3.3. Підготовка моделі під 3D друк

3D друк став одним із методів виготовлення безпілотноків. Як приклад, зараз у військовий час виготовляється велика кількість дронів, безпілотноків за допомогою 3D друку, що дозволяє значно пришвидшити процес їх виготовлення.

Більшість винахідників та розробників безпілотників зупинилися на технології 3D друк – FDM замість SLA (стеолітографія) і SLS (селективне лазерне спікання), через нижчу вартість матеріалів і простіший процес друку відносно великих компонентів, таких як корпус чи крило безпілотника. Ідея полягає в тому, щоб увімкнути 3D друк безпілотних одноразових літальних апаратів, які можна відправляти в односторонні місії для розвідки, пошуку та порятунку або доставки.

Для того щоб виконати 3D друк необхідно підгодувати інструкції для 3D принтера у вигляді набору команд та набору координат, які буде виконувати 3D принтер, ці команди формуються у файл із розширення .gcode. Щоб отримати його необхідно використати спеціальне програмне забезпечення (слайсер), скористаємось PrusaSlicer, робочу область якого показано на рис. 3.23. Час та кількість необхідного матеріалу (філаменту) залежить від основних параметрів:

- відсоток заповнення 3D моделі;
- тип матеріалу (впливає на швидкість друку);
- висота шару (якість та швидкість);
- необхідність підтримок(встановлюються, якщо у 3D моделі є нависаючі виступи).

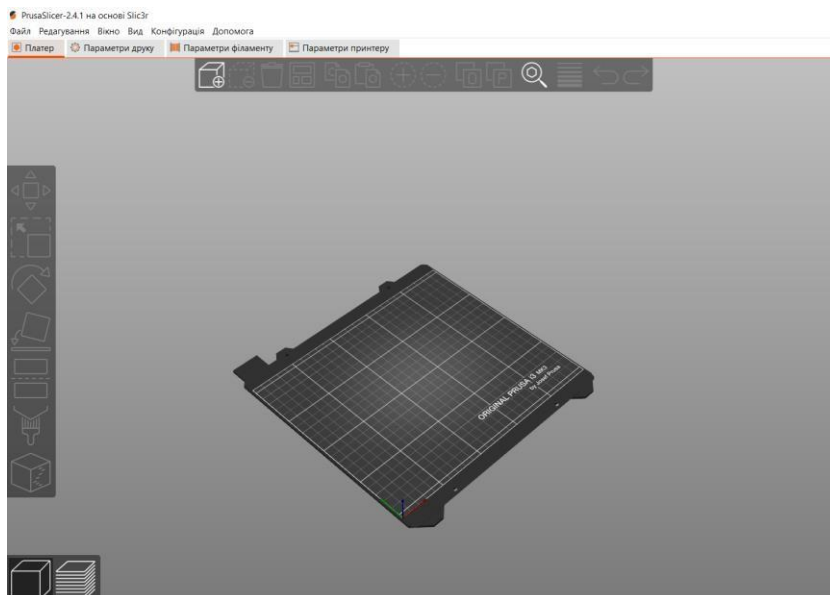


Рисунок 3.23 – Головне вікно слайсера

Найбільш поширеним розміром 3D принтера, який працює за технологією FDM (пошарове накладання пластику), є область 200x200x220 мм. Тому

встановлюємо таку область і розставляємо наші деталі, це дозволить типізувати виробництво. Покажемо підготовку декількох деталей. Матеріал для друку використаємо PLA-LW – матеріал, який під час друку спінюється і таким чином втрачає густину, що у свою чергу робить його на 30 % легшим за інші матеріали. Наведемо його фізико механічні властивості (рис. 3.24).

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ: ~~~~~	
Параметри	Значення
Діаметр нитки, мм	1,75/2,90 +/-0,05
Овальність, мм	+/-0,02
Лінійна маса, м/кг (довжина 1кг 1,75мм)	325-335
Стійкість до згину, рази	-
Технологія друку	FDM
МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ: ~~~~~	
Параметри	Значення
Густина, г/см ³	1,24
Температура експлуатації, °C	-10 – +50
Міцність на розтяг, МПа	51
Відносне видовження при розриві, %	30
Модуль пружності при розтягу, МПа	2300
Модуль пружності при згині, МПа	1440
Міцність при згині, МПа	80
Ударна в'язкість без надрізу по Шарпі (23°C), кДж/м ²	102
Водопоглинання, % 24ч/23°C, %	0,7

Рисунок 3.24 – Фізико-механічні властивості PLA-LW

Переходимо до підготовки до друку, першочергово експортуємо наші деталі у форматі .stl або obj, саме ці формати розуміє слайсер. Наступним кроком розмістимо для прикладу ніс безпілотної на робочій області принтера, визначимо параметри друку (рис. 3.25), які описані вище та проведемо так зване «нарізання шарів» (рис. 3.26).

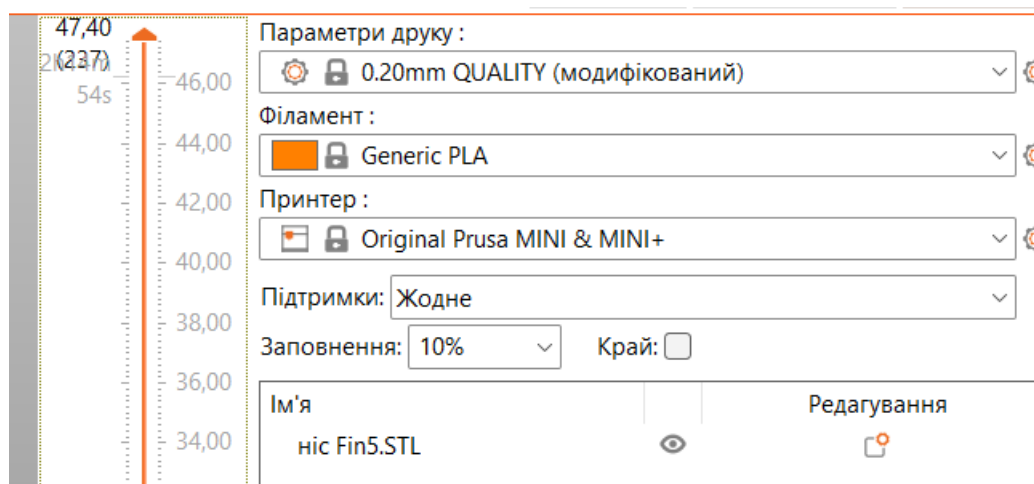


Рисунок 3.25 – Основні параметри

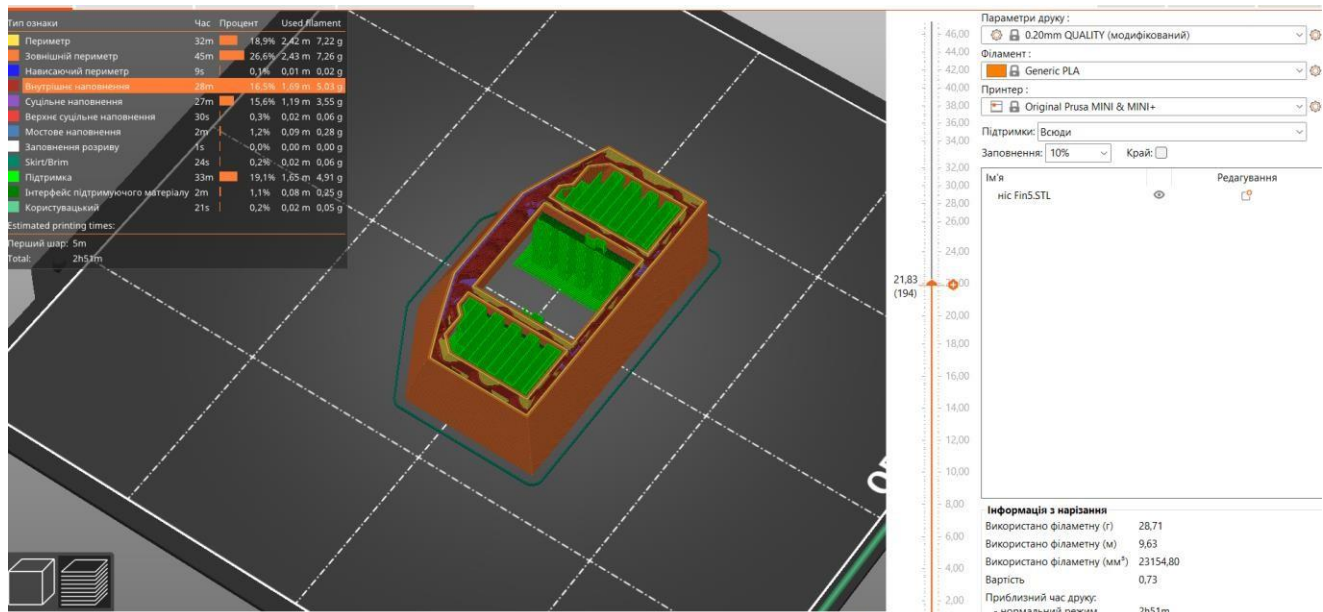


Рисунок 3.26 – Підготовка деталі до 3D друку

Аналізуючи результат нарізання деталі ми отримали наступну інформацію, що дана деталь на виході буде важити 28,71 грама, але це так звана «брудна вага», оскільки вона враховує підтримки, які показано зеленим кольором, їх після друку потрібно зняти, оскільки вони не є елементами деталі. Також ми бачимо, що час друку даної деталі складає 2 години 51 хвилину. Як результат ми отримуємо так званий g-code, який уже передаємо на виконання 3D принтеру, фрагмент g-code наведемо нижче (рис. 3.27).

```

279 ;WIDTH:0.42
280 G1 F1200
281 G1 X55.384 Y64.818 E.03008
282 G1 X124.616 Y64.817 E2.17074
283 G1 X125.923 Y65.209 E.04278
284 G1 X126.8 Y66.255 E.04278
285 G1 X126.993 Y67.195 E.03008
286 G1 X126.993 Y100.99 E1.05962
287 G1 X126.602 Y102.297 E.04278
288 G1 X125.79 Y103.057 E.03488
289 G1 X115.485 Y108.895 E.37135
290 G1 X104.625 Y114.863 E.38854
291 G1 X103.482 Y115.156 E.037
292 G1 X76.518 Y115.156 E.84541
293 G1 X75.375 Y114.863 E.037
294 G1 X63.04 Y108.067 E.44159
295 G1 X54.21 Y103.057 E.3183
296 G1 X53.267 Y102.071 E.04278
297 G1 X53.007 Y100.99 E.03488
298 G1 X53.007 Y67.195 E1.05962
299 G1 X53.398 Y65.888 E.04278
300 G1 X54.398 Y65.05 E.0409
301 M204 P1000
302 ; printing object nic Fin5.STL id:0 copy 0
303 G1 E-2.24 F4200
304 ;WIPE_START
305 G1 F7200
306 G1 X55.384 Y64.818 E-.5612
307 G1 X56.017 Y64.818 E-.3508

```

Рисунок 3.27 – Фрагмент g-code

Слідуючи інструкціям по підготовці 3D моделей до друку проводимо це із усіма деталями, при тому, деталі, які більші за площу побудови принтера потрібно розрізати або розділити, наприклад таку деталь як крило можна поділити як це зображено на рис. 3.28.

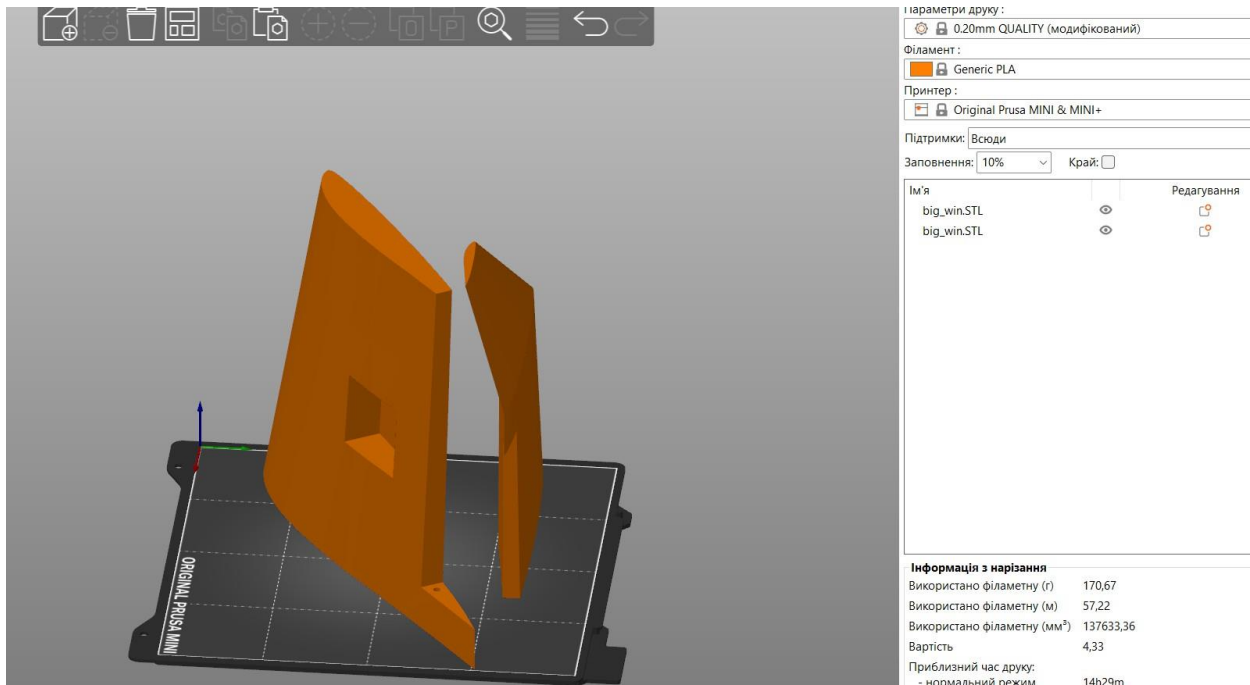


Рисунок 3.28 – Оптимізація моделей відповідно до робочої області друку 3D принтера

Таким чином усі деталі корпусу можна виготовити методом 3D друку, технологією FDM. Розміщення електроніки показано у 3D складанні, залишиться встановити прошивку і буде повністю функціональний безпілотник. Пройдено усі етапи від проектування (CAD), дослідження (CAE) до виготовлення (CAM), що і є базою САПР.

ВИСНОВКИ

Завданням дипломної роботи є розроблення та дослідження конструкції безпілотної з використанням засобів SolidWorks.

Проект поділено на декілька етапів, зокрема:

1. Розробка та монтаж компонентів безпілотної.
2. Моделювання руху повітряних потоків на крило безпілотної.
3. Аналіз отриманих результатів.
4. Створення конструкторської документації.
5. Підготовка 3D моделей для виготовлення методом 3D друку.

В результаті цього проекту було отримано досвід роботи з деталями та вузлами в середовищі проектування SolidWorks, напрацьовано навички роботи з модулем Flow Simulation та набуто інформації, пов'язаної з будовою та поведінкою безпілотної.

Досягнуто мету дипломної роботи, а саме: отримано необхідні конструкторські креслення для практичного реалізації безпілотної, при тому дотримуючись основної вимоги можливість виготовлення безпілотної із використанням адитивних технологій, а саме 3D друку, методом пошарового накладання пластику.

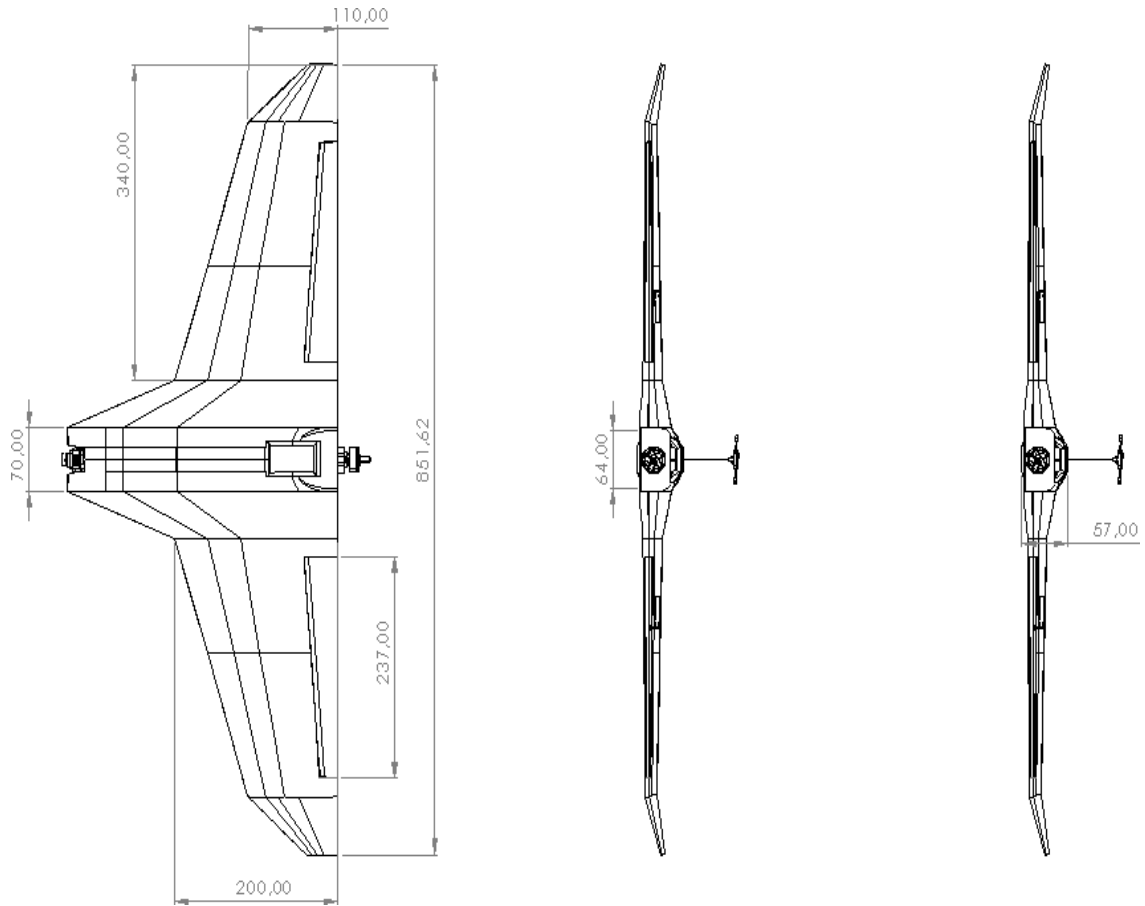
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. David Planchard «Official Certified SolidWorks Professional (CSWP) Certification Guide with Video Instruction: SolidWorks 2012-2014» - SDC Publications ,2014. р. 195.
2. SolidWorks – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alignex.com/solidworks-flow-simulation-resources> (Дата звернення: 05.06.2023).
3. Bethune J.D. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2016 / J. D. Bethune // . – Peachpit Press, 2016. — 784 p.
4. Duhovnik, Joze. Space Modeling with SolidWorks and NX / J. Duhovnik, I. Demsar, P. Dresar//. – London: Springer, 2015. – 490 p.
5. SolidWorks. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.solidworks.com/> (Дата звернення: 05.06.2023).
6. SOLIDWORKS SOFTICO. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://solidworks.softico.ua/> (Дата звернення: 05.06.2023).
7. SOLIDWORKS Web Help. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://help.solidworks.com/HelpProducts.aspx> (Дата звернення: 05.06.2023).
8. SOLIDWORKS Simulation Finite Element Analysis (FEA) Software. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.goengineer.com/solidworks/simulation/solidworks-simulation> (Дата звернення: 05.06.2023).
9. SOLIDWORKS Simulation. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.javelin-tech.com/3d/technology/solidworks-simulation/> (Дата звернення: 05.06.2023).
10. ДСТУ 3321:2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. – Чинний від 08.12.2003. – К.: Держспоживстандарт, 2005. – С. 50.
11. ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення. – Чинний від 01.07.1994. – К.: Держстандарт України, 1994. – С. 91

12. CADArtifex, Willis J., Dogra S., SOLIDWORKS Simulation 2022: A Power Guide for Beginners and Intermediate Users, CADArtifex Publishing, 2022.
13. Shih R. H. Learning SOLIDWORKS 2022: Modeling, Assembly and Analysis, SDC Publications, 2022.
14. Tapa Blanda, Tutorial Books. SOLIDWORKS 2021 For Beginners, Kishore Publishing, 2021. – 378 p.
15. Tickoo S., SOLIDWORKS 2020 for Designers, CADCIM Technologies, 2020. – 872 p.

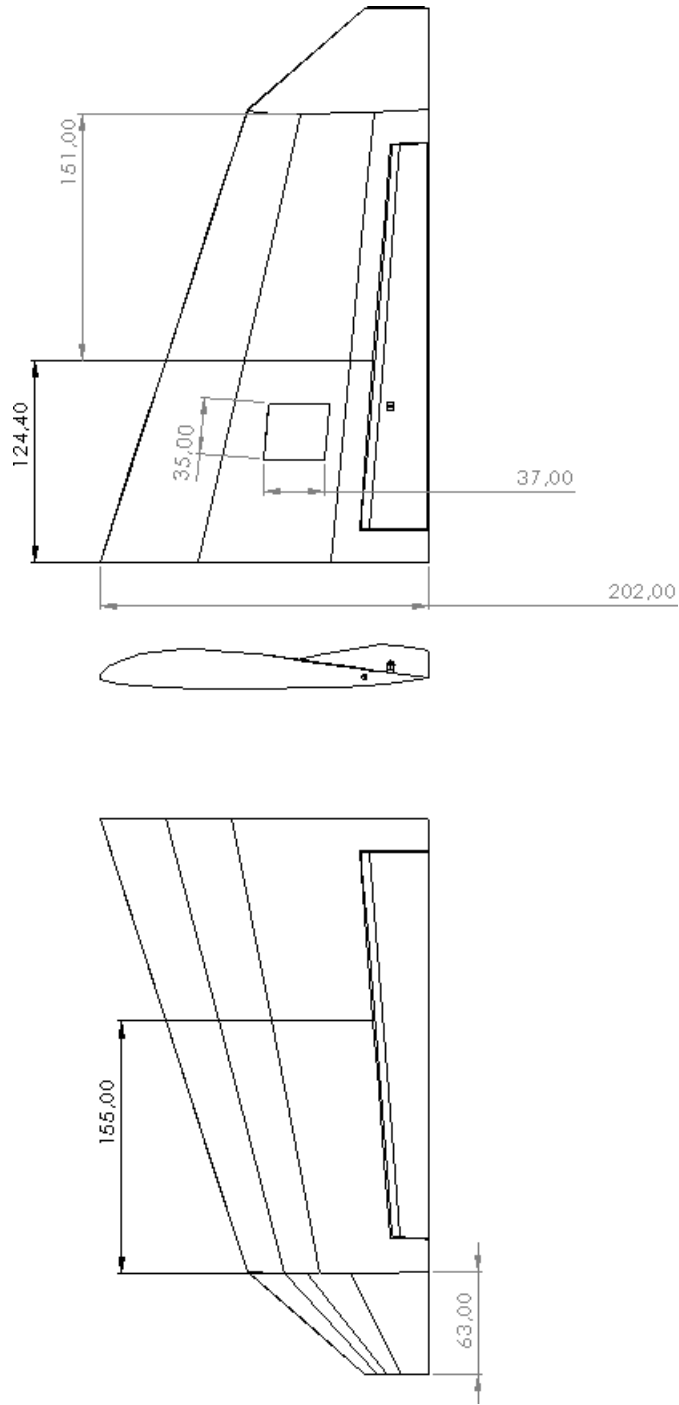
ДОДАТКИ

Складальні креслення



Безпілотник (габарити)

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Разраб		Каган О.З.			Литера	Лист	Листів
Пров		Борецька І.Б.			у	1	9



Крыло(габарити)

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		Каган О.З.				<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>		Борецька І.Б.				у	1	9
<i>Н. Контр.</i>						ст. групи ICTc-21		