

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування**

До захисту допущено
В. о. завідувача кафедри
_____Олександр БОНДАРЕНКО

«__»_____2023 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»
спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
на тему: «Аеродинамічне проектування БПЛА за умови
забезпечення необхідної тривалості польоту. Конструкція та
міцність»**

Виконав:

студент IV курсу, групи АЛ-91
Рибін Олександр Олегович _____

Керівник:

Асистент.
Предаченко Костянтин Олегович _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доц.
Сердюк Анатолій Анатолійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
Освітньо-професійна програма «Літаки і вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В. о. завідувача кафедри
_____ Олександр БОНДАРЕНКО
«19» лютого 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Рибіну Олександр Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту **«Аеродинамічне проектування БпЛА за умови забезпечення необхідної тривалості польоту. Конструкція та міцність»**, керівник проєкту Предаченко Костянтин Олегович, асистент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2023 р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 6 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту: _____

3.1. Максимальне корисне навантаження $m_{кор} = 2 \text{ кг}$

3.2. Крейсерська швидкість польоту $V_{кр} = 80 \text{ км/год}$

3.3. Крейсерська висота польоту $H_{кр} = 1500 \text{ м}$

3.4. Максимальний час польоту $t = 2,5 \text{ год}$

4. Зміст пояснювальної записки: _____

4.1. Постановка задачі з оглядом на потреби та проблеми.

4.2. Огляд технічних характеристик аналогів.

4.3. Вибір технологічного процесу виготовлення та матеріалів.

4.4. Конструктивно силова схема та навантаження, що діють на БпЛА.

4.5. Об'ємне компонування корисного навантаження.

4.6. Розрахунок міцності конструкції.

4.7. Антенний комплекс та розрахунок дальності зв'язку.

4.8. Економіко-технічний проєкт.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

5.1 Загальний вигляд БпЛА

5.2 Конструктивно силова схема крила та оперення

5.3 Епюри навантажень що діють на крило та оперення в різних режимах польоту

5.4 Компонувальна схема обладнання в фюзеляжі

5.5 Параметри антенного комплексу

5.6 Напружено-деформований стан конструкції

7. Дата видачі завдання: 19 лютого 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Підбір та аналіз літератури та програмного забезпечення	до 15.03.2023 р.	
2.	Постановка задачі з оглядом на потреби та проблеми	до 28.03.2023 р.	
3.	Аеродинамічне проектування крила	до 6.04.2023 р.	
4.	Конструктивно силова схема та навантаження що діють на БпЛА.	до 16.04.2023 р.	
5.	Об'ємне компонування корисного навантаження.	до 26.04.2023 р.	
6.	Розрахунок міцності конструкції..	до 3.05.2023 р.	
7.	Вибір технологічного процесу виготовлення та матеріалів	до 12.05.2023 р.	
8.	Економіко-технічний проєкт.	до 24.05.2023 р.	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	до 01.06.2023 р.	
10.	Подання дипломного проєкту на рецензування	до 03.06.2023 р.	
11.	Перевірка ПЗ до дипломного проєкту на академічну доброчесність (плагіат)	до 07.06.2023 р.	
12.	Захист дипломного проєкту	з 12.06.2023 р. по 21.06.2023 р.	

Студент _____

Олександр РИБІН

Керівник _____

Костянтин ПРЕДАЧЕНКО

Анотація

Пояснювальна записка до диплому з теми «Аеродинамічне проектування БпЛА за умов забезпечення необхідності тривалості польоту. Конструкція та міцність» містить 60 сторінок, 50 ілюстрацій, 20 таблиць та 9 використаних джерел.

Метою даного проекту є розробка багатоцільового БпЛА типу літак, проектування, створення 3Д моделі та розрахунків, опис конструкції та технології виготовлення моделі.

У дипломному проекті було проаналізовано характеристики БпЛА аналогів, та їх порівняння постановки задачі до БпЛА та його характеристик, був проведений детальний опис конструкції основних його елементів, виконані деякі розрахунки міцності та аеродинамічні розрахунки крила, був описаний процес проектування в програмнограмному забезпеченні за для отримання аеродинамічних розрахунків.

Для проектованого безпілотного літального апарату була створена модель консолі крила та фюзеляж.

Ключові слова: БпЛА, аеродинаміка, аеродинамічне проектування, профіль крила, конструкція, технологія.

Abstract

Explanatory note to the diploma on the topic "Aerodynamic design of UAVs under the conditions of ensuring the necessary flight duration. Construction and strength" contains 60 pages, 50 illustrations, 20 tables and 9 references.

The purpose of this project is the development of a multi-purpose aircraft-type UAV, design, creation of a 3D model and calculations, description of the design and model manufacturing technology.

In the diploma project, the characteristics of UAV analogues were analyzed, and their comparison of the problem statement to the UAV and its characteristics, a detailed description of the design of its main elements was carried out, some strength calculations and aerodynamic calculations of the wing were performed, the design process was described in the software provided for obtaining aerodynamic calculations .

A model of the wing console and fuselage was created for the designed unmanned aerial vehicle.

Key words: UAV, aerodynamics, aerodynamic design, wing profile, design, technology.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка	
1	A4		Завдання на дипломний проект	1		
2	A4	АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Пояснювальна записка			
3	A1	АЛ9117.16.00.00.01 ІМ	Огляд аналогів	1		
4	A1	АЛ9117.16.00.00.02 ЗВ	Загальний вигляд БпЛА	1		
5	A1	АЛ9117.16.00.00.03 РР	Аеродинамічні розрахунки	1		
6	A1	АЛ9117.16.00.00.04 РР	Розрахунок міцності	1		
				АЛ9117.16.00.00.00		
	П.І.Б.	Підп.	Дата			
Розробив	Рибін О.О.			Відомість дипломного проекту	Аркуш	
Перевірів	Предаченко К.О.				1	
					1	
Н. контр.	Поваров С.А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Зав. каф.	Бондаренко О.М.				Каф. АРБ	Гр. АЛ-91

ЗМІСТ

	СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	9
	ВСТУП	10
1	ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ З ОГЛЯДОМ НА АНАЛОГИ	12
	1.1 Airlogix Гор	12
	1.2 Raybird-3.....	15
	1.3 Raider-2.....	17
	1.4 Порівняння характеристик БПЛА аналогів	19
	1.5 Постановка задачі	20
	Висновки по розділу	
2	КОНСТРУКЦІЯ.....	22
	2.1 Опис основних елементів конструкції	22
	2.2 Створення 3Д моделі БПЛА	28
	2.3 Конструктивно силова схема, навантаження що діють на БПЛА ...	30
	2.4 Об'ємне компонування корисного навантаження	32
	2.5 Міцність конструкції	33
	Висновки по розділу	
3	АЕРОДИНАМІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ КРИЛА	36
	3.1 Профілю крила	36
	3.2 Створення розрахунків в CFD	37
	3.3 Вибір оптимального кута атаки	40
	Висновки по розділу	
4	ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	47
	4.1 Вибір матеріалів	47
	4.2 Підбір технології для створення моделі	48
	4.3 Оптимізація виготовлення	51
	Висновки по розділу	

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Рибін О.О.				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Предаченко К.О.				7	62	
Реценз.					Аеродинамічне проектування БПЛА за умови забезпечення необхідної тривалості польоту. Конструкція та міцність		
Н. Контр.	Поваров С.А.						
Затверд.	Бондаренко О.М.						
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.АРБ Гр. АЛ-91		

5	ЕКОНОМІКО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОЕКТ	54
5.1	Аналіз та прогнозування валютного курсу	54
5.2	Ціноутворення та прогнозування виходів від продажів.....	56
5.3	Оцінки для інженерного рішення	57
	Висновки по розділу	
	ВИСНОВОК.....	59
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

БпЛА – безпілотний літальний апарат;

ГО – горизонтальне оперення;

ВО – вертикальне оперення;

САПР – система автоматизованого проектування;

CFD (computational fluid dynamics, CFD) – обчислювальна гідрогазодинаміка;

Re – число Рейнольдса

ЧПК – числове програмне програмування.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток у сферах аеродинаміки, конструювання, міцності, електроніки та систем енергоживлення забезпечили необхідні можливості для інженерів в напрямку конструювання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що здатні виконувати цивільні та військові задачі. Розвиток даної галузі був спричинений збільшенням попиту на дешеві та легкі літальні апарати, що зможуть забезпечити необхідну дальність польоту та маневреність.

Безпілотний літальний апарат – (UAV – unmanned aerial vehicle), керований дистанційно або автономний літальний апарат, що може виконувати широку низку завдань. Цивільне застосування: аерофотозйомка і зйомка місцевості, сканування місцевості, сільське господарство і служби безпеки, поштові і вантажні перевезення. Військове застосування: розвідка, спостереження і виявлення цілей, а також транспортування специфічних вантажів. Але незалежно від призначення, розробники БПЛА стикаються з вимогою максимальної аеродинамічної якості та забезпечення дальності польоту. Однак, одним з основних обмежень, що стоять перед цими апаратами, є їхня обмежена тривалість польоту. Забезпечення необхідної тривалості польоту є ключовим аспектом при проектуванні БПЛА, оскільки це дозволяє збільшити радіус його застосування та час на виконання завдань.

Метою даного проекту є розробка БПЛА, що забезпечує необхідну тривалість польоту. Цей проект має на меті зпроектувати БПЛА і покращити його ефективність, дозволяючи йому залишатися в повітрі на тривалий період часу без необхідності в частому заряджанні. А також визначення його конструкції та оптимізація міцності БПЛА для забезпечення безпечного та стійкого польоту.

Об'єкт дослідження – безпілотний літальний апарат.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предмет дослідження – визначення аеродинамічних та виробничих чинників для підвищення тривалості польоту безпілотного літального апарату.

Методи, застосовані в дипломній роботі: аеродинамічний розрахунок крила, моделювання крила у програмному комплексі DS SolidWorks 2020, дослідження на міцність перехідного перерізу.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
						11
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ З ОГЛЯДОМ НА АНАЛОГИ

1.1 Airlogix «Гор»

Гор – стартап компанії Airlogix. Це розвідувальна система, призначена для розвідки та координації артилерії на висотах до 3 500 метрів. Призначений для виявлення ворожої артилерії, засобів радіоелектронної розвідки, радіоелектронної боротьби та протиповітряної оборони.

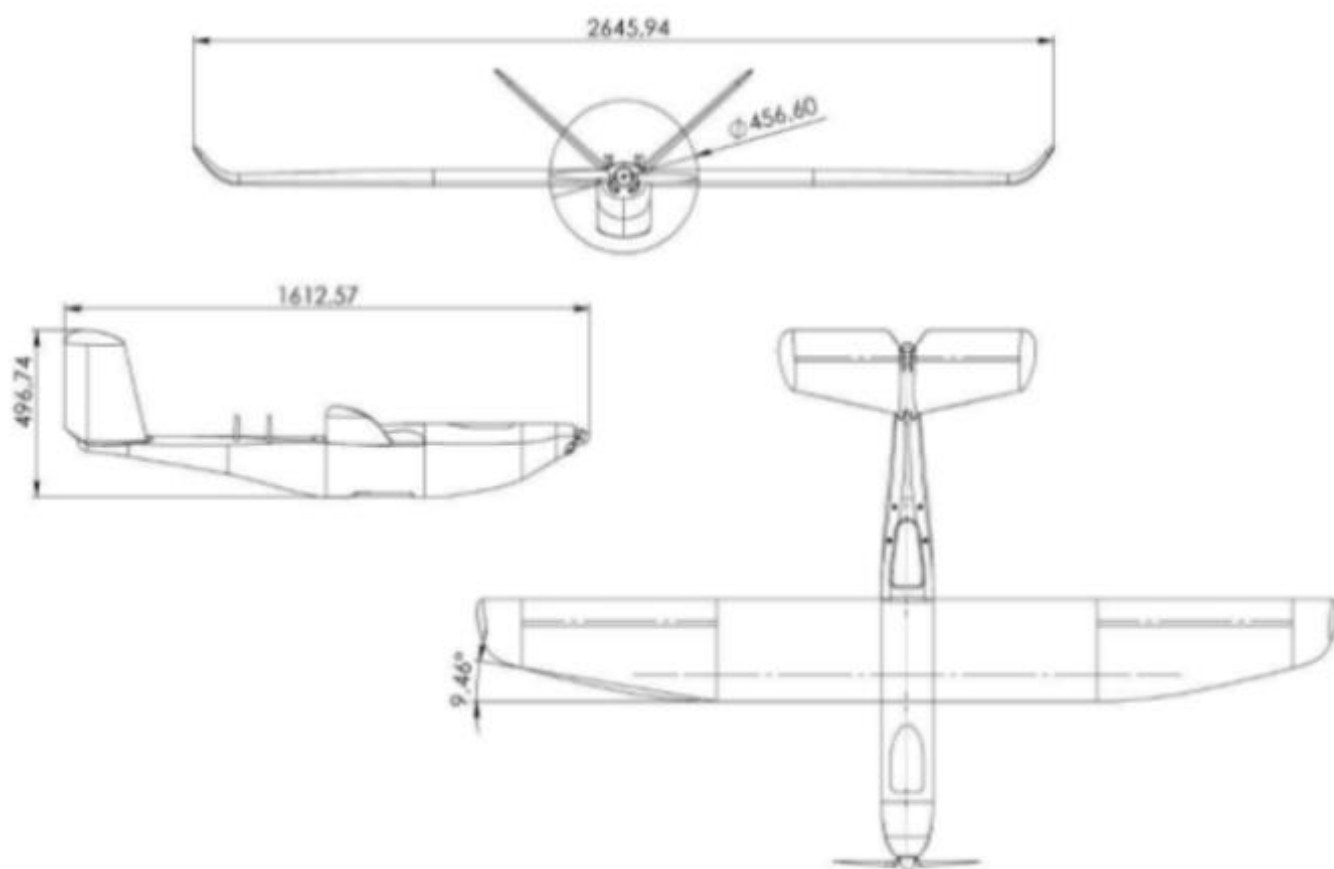


Рис. 1.1 Загальний вигляд

Розвідувально-коригувальні БПЛА Гор мають найкращі характеристики: дальність польоту - 150 кілометрів, радіус зв'язку - 30 кілометрів. Ціна одного комплексу - 1 мільйон гривень.

					AL9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2 Проведення запуску «Гор» з рук

«Гор» забезпечує ефективний радіус дії і якість сигналу:

- Відеозв'язок, канал передачі даних, управління до 30 км.
- 2-осьовий підвіс із складанням у фюзеляж
- Камера з 30-кратним збільшенням, трекінг об'єктів, потокове передавання Full HD 1080p
- Основний і резервний канал зв'язку (обидва канали зашифровані AES 128 біт; ППР4)

Даний БПЛА має три режими польоту :

Автономний режим, що виключає людський фактор, при ньому пілот фокусується на роботі з камерою, а не управлінні БЛА, а при придушенні зв'язку або GPS дрон слідуватиме раніше заданим маршрутом і повертатиметься до заданого місця посадки за допомогою інерціальної навігаційної системи.

Напівавтоматичний режим, при чякому пілот контролює літак, але втоматика не дасть пілоту зробити фатальну помилку

Ручний режим: тільки для досвідчених пілотів

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

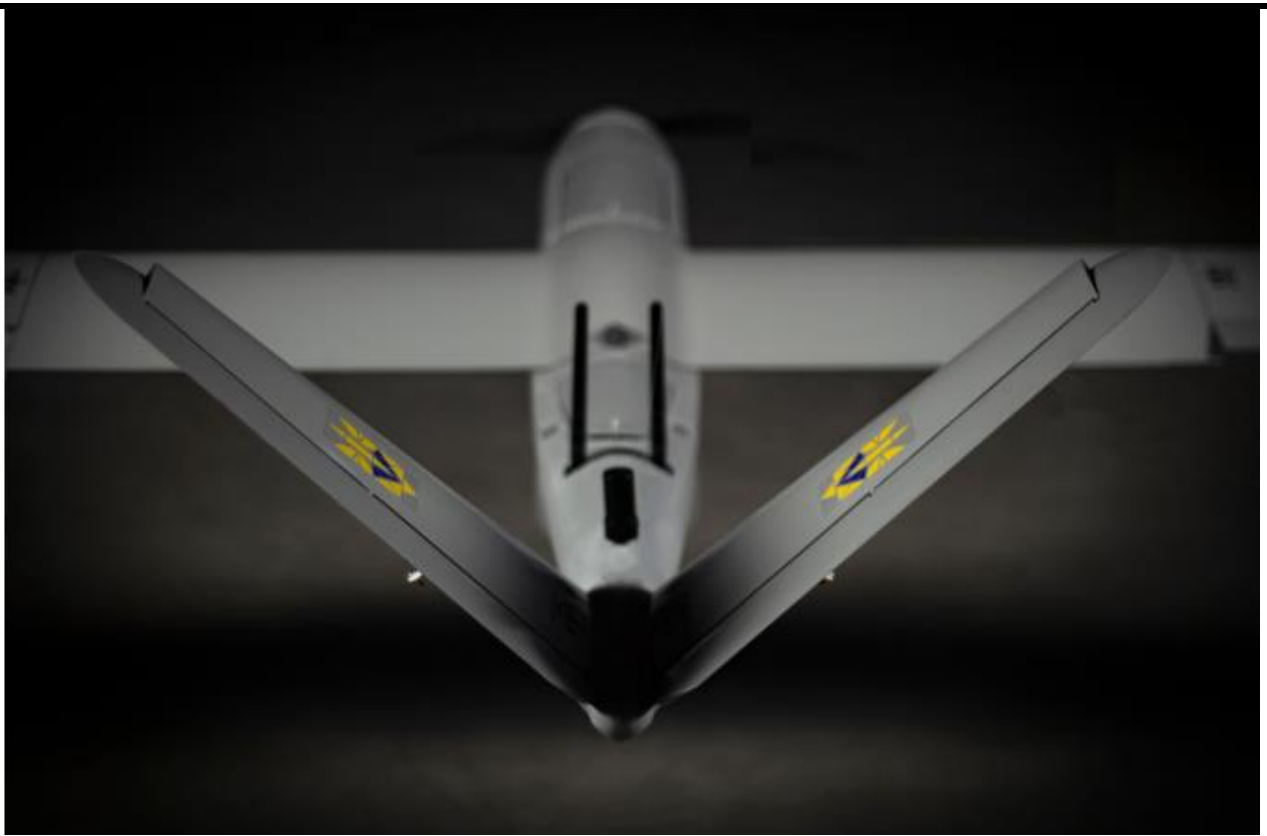


Рис. 1.3 Вид на V-образне хвостове оперення Гор

Таблиця 1.1 – Характеристики Airlogix «Гор»

Розмах крила, м	2,646
Висота, м	0,496
Максимальна злітна маса, кг	10,5
Крейсерська швидкість, км/год	64
Стеля, м	3500

1.2 Raybird-3

Raybird-3 - невеликий тактичний безпілотний літальний апарат (БПЛА) серійного виробництва для довготривалих розвідувальних місій у цивільних та військових цілях.



Рис. 1.4 Raybird-3 запуск з пускової установки

Використовується для виконання різноманітних довготривалих місій та пошуково-рятувальних операцій (денне та нічне аеро- та відеоспостереження за наземними та водними об'єктами); виготовляється компанією АВК "Скайтон"; допущений до використання Збройними силами України з 2016 року.

БПЛА Raibird 3 має фіксовані крила, бензиновий двигун, механічну катапульту для запуску та парашут для приземлення. Він здатний здійснювати автономні польоти з максимальним радіусом до 1 000 км та відстанню до 2 500 км. Він може нести корисне навантаження до 5 кг, включаючи гіростабілізований мультисенсорний кпідвіс, радар, датчики для наведення на ціль і цифрову камеру.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.5 Raybird-3

Таблиця 1.2 – Характеристики Raybird-3

Розмах крила, м	14
Максимальна злітна маса, кг	23
Корисне навантаження, кг	5
Крейсерська швидкість, км/год	110
Стеля, м	3500

1.3 Raider-2

БПЛА Raider-2 - це безпілотний дрон, призначений для розвідки та нанесення ударів на ворожі позиції та є розробкою українських військових.

Особливості БПЛА Raider-2 включають швидке розгортання зі складових частин у польових умовах, що полегшує транспортування. Він оснащений чотирма тихими електродвигунами, які забезпечують його рух та маневреність. Дрон може нести до 5 кілограмів корисного навантаження та працювати автономно протягом 4 годин, долаючи відстань до 200 кілометрів.



Рис. 1.6 Raider-2 запуск з рук

Планується обладнати БПЛА Raider-2 приймачем GMSS, що зробить його менш вразливим до засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника. Керувати безпілотником можна за допомогою FPV-окулярів або звичайного монітора, а відео з камери можна транслювати в режимі реального часу та записувати на USB-накопичувач. Ці функціональні можливості дозволяють використовувати БПЛА Raider-2 для розвідки та наведення на ціль.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.7 Raider-2 процес збирання БпЛА в польових умовах

Таблиця 1.3 – Характеристики Raider-2

Розмах крила, м	2,2
Максимальна злітна маса, кг	15
Корисне навантаження, кг	5
Крейсерська швидкість, км/год	65
Стеля, м	3000

Таблиця 1.4 – Порівняння характеристик БПЛА аналогів

<i>Технічні характеристики</i>	Гор	Raybird-3	Raider-2
Розмах крила, м	2,646	14	2,2
Максимальна злітна маса, кг	10,5	23	15
Корисне навантаження, кг	-	5	5
Крейсерська швидкість, км/год	64	110	65
Стеля, м	3500	3500	3000

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Постановка задачі

БПЛА наразі відіграють важливу роль як у цивільному, так і у військовому секторах, виконуючи різноманітні функції. З військової сторони БПЛА відіграють дуже важливу роль у виконанні основних функцій, таких як розвідка та безпосереднє ведення бойових дій; серед БПЛА дуже активно використовуються невеликі літальні апарати з максимальною злітною вагою до 5 кг. Тому було вирішено створити багатоцільовий БПЛА літакового типу з максимальною злітною вагою 5 кг, максимальним корисним навантаженням 2 кг, малою швидкістю зльоту, оскільки він запускається зі спеціальної пускової установки, автомобіля або іншого мобільного транспортного засобу, крейсерською швидкістю приблизно 80 км/год і максимальним часом польоту 2,5 години.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по розділу

В цьому розділі я розгляну три аналоги та їх технічні характеристики. Було виконано порівняння трьох БПЛА, та на основі їх льотно технічних характеристик була поставлена задача з проектування БПЛА.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 КОНСТРУКЦІЯ

2.1 Опис основних елементів конструкції

В рамках даного проекту освітлені такі елементи конструкції як: крило, фюзеляж та хвостове оперення. Також конструкція даного БПЛА включає композитний лонжерон, що витримує навантаження та є силовим елементом конструкції.

2.1.1 Крило

Крило є одним з найважливіших компонентів літального апарату, яке забезпечує підйомну силу та керований політ. Крило має кілька важливих параметрів, що впливають на його поведінку в повітрі. Основні функції крила включають:

Підйомна сила: Крило забезпечує необхідну підйомну силу для підтримки літального апарату у повітрі. Вона залежить від форми профілю крила, кута атаки, розмаху крила та інших факторів.

Ефективність: Крило має бути ефективним у створенні підйомної сили та мінімізації опору повітря.

Основні параметри крила :

Форма крила – трапецієподібне, стрілоподібне по передній кромці

Площа крила – це площа проекції на площину хорд, яка включає частину площі, вписаної у фюзеляж літака.

Розмах крила – відстань між двома кінцевими елементами крила.

Хорда профілю крила – це умовна пряма лінія, що з'єднує передню і задню точки профілю.

Звуження – це відношення довжини кореневої хорди до довжини кінцевої хордикрила.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Видовення – це відношення квадрата розмаху крила до його площі.

Кут стілоподібності – кут відхилення крила від нормалі до вертикальної осі літака в горизонтальній проєкції.

Кут установки – кут між кореневою хордою крила та базовою віссю літака.

Геометрична кривка крила – різні установочні кути хорд по крилу в певних перерізах.

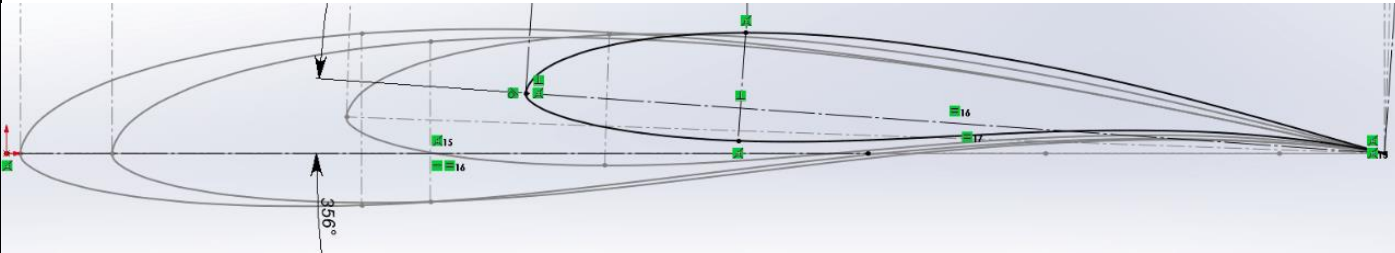


Рис. 2.1. Геометрична кривка крила

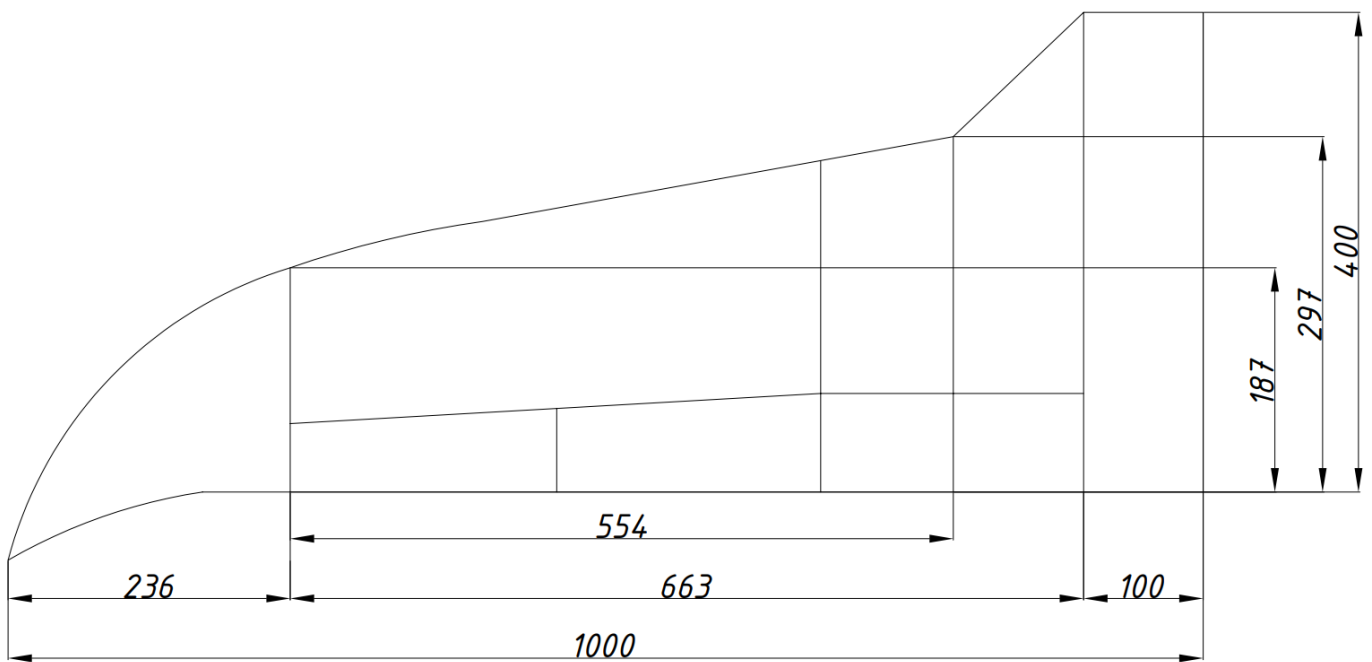


Рис. 2.2. Основні види крила

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Основні геометричні параметри крила

Площа крила, м ²	0,407
Розмах крила, м	2
Коренева хорда профілю крила, м	0,4
Кінцева хорда, м	0,175
Звуження	1,43
Видовення	9,83
Кут стілоподібності, °	15,5
Кут установки, °	2
Геометрична крутка крила, °	До 6

2.1.2 Оперення

Оперення – сукупність аеродинамічних поверхонь, що забезпечують стійкість, керованість та балансування літака в польоті. Зазвичай знаходиться в хвостовій частині фюзеляжу. Складається з горизонтального та вертикального оперення, а саме горизонтального та вертикального стабілізатора та органів керування.

Класична схема горизонтального оперення – встановлення горизонтального стабілізатору на фюзеляжі у його хвостовій частині. Дана схема є найбільш розповсюдженою та характеризується простотою конструкції та міцністю.

Горизонтальне оперення (ГО) – аеродинамічна поверхня що забезпечує повздовжнє балансування, стійкість та керованість.

Вертикальне оперення (ВО) – аеродинамічна поверхня що забезпечує шляхове балансування, стійкість та керованість.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

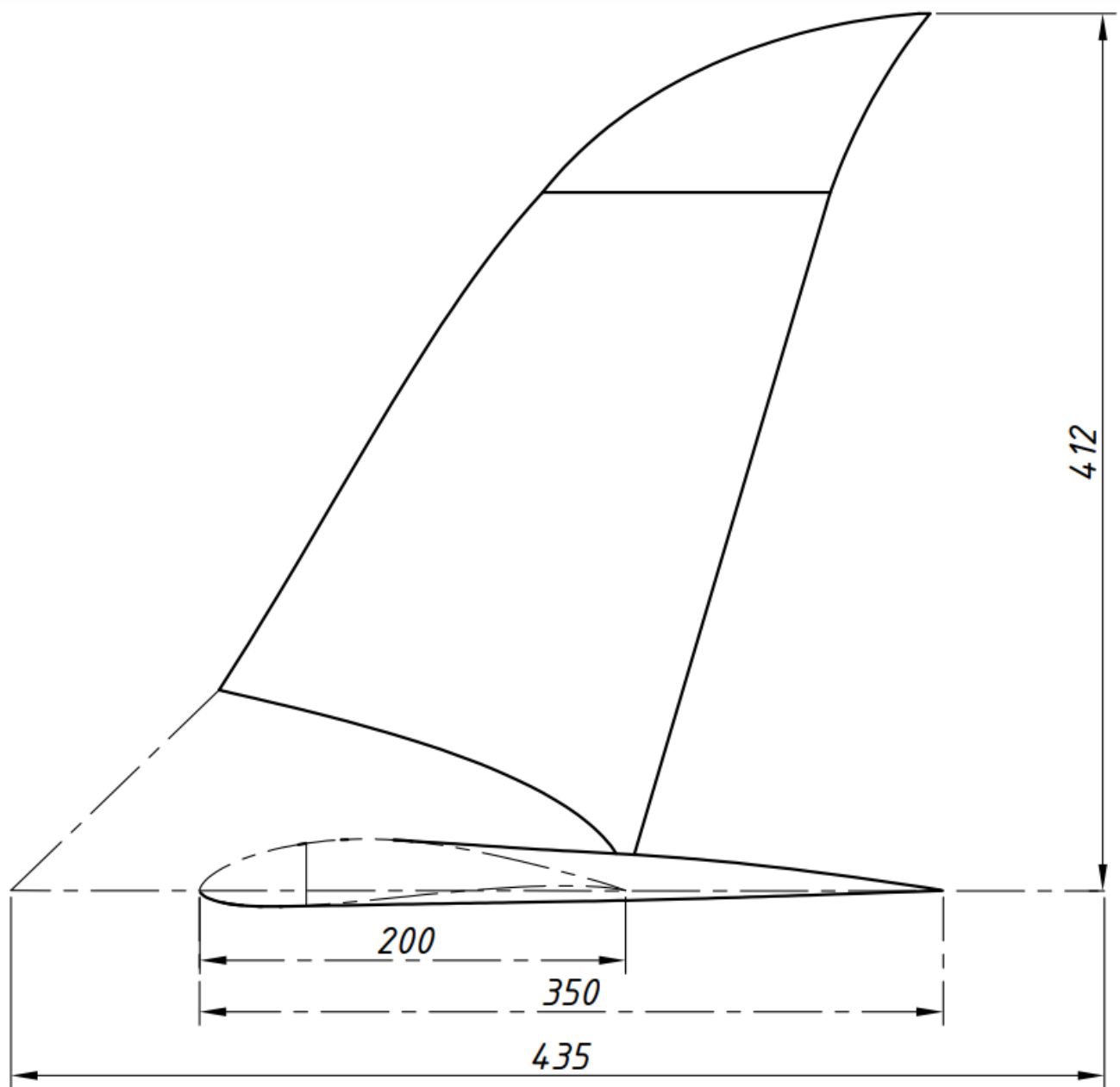


Рис. 2.3. Схема ВО та ГО

Таблиця 2.2 Основні геометричні параметри ВО

Висота, м	0,412
Площа, м ²	0,116
Коренева хорда, м	0,26
Кінцева хорда, м	0,12
Стрілоподібність, °	30

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9 117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

25

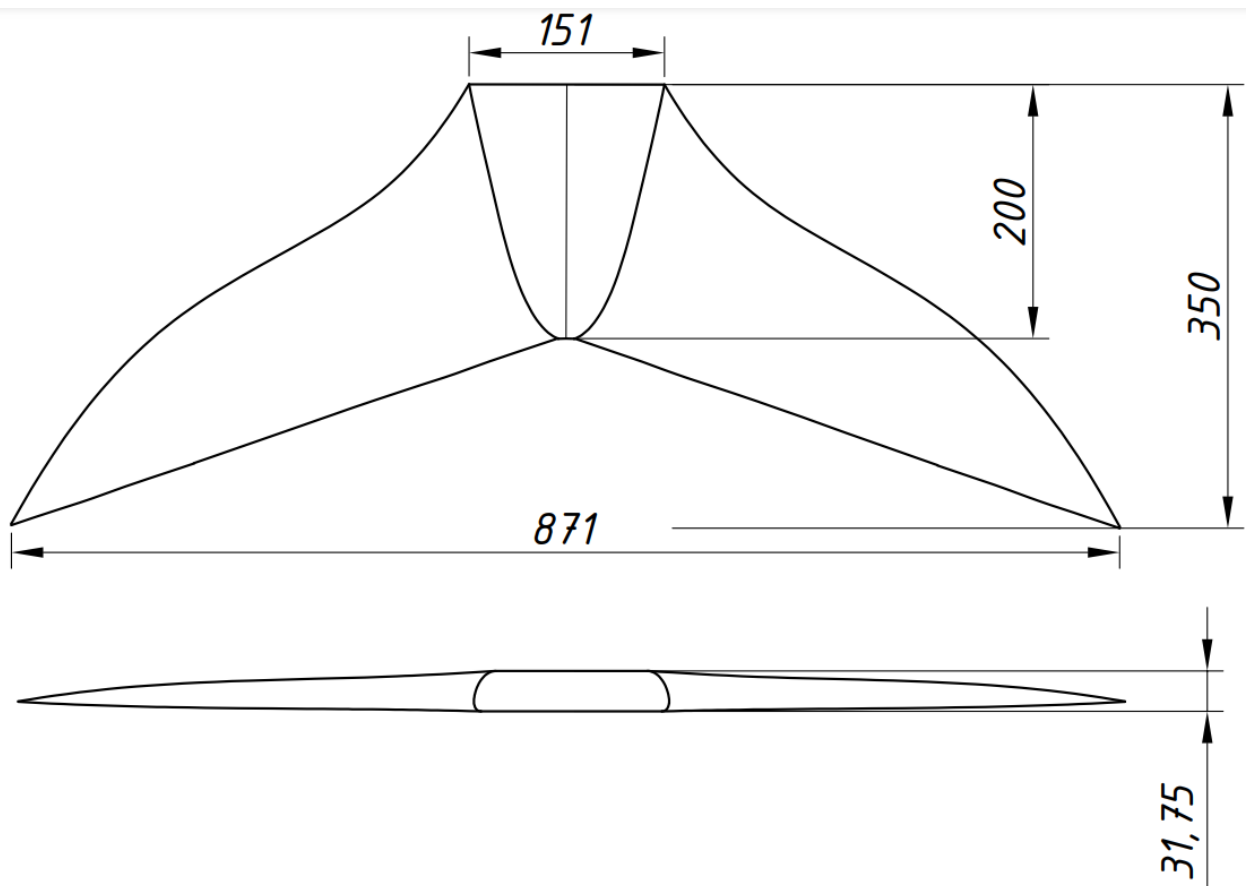


Рис. 2.4. Схема ГО

Таблиця 2.3 Основні геометричні параметри ГО

Розмах, м	0,871
Коренева хорда, м	0,21
Кінцева хорда, м	0,0115
Площа ГО, м ²	0,052832
Видовження	9,83
Кут поперечного V, °	0
Звуження	1,43
Кут стрілоподібності, °	32
Кут встановлення, °	2

2.1.3 Фюзеляж

Фюзеляж, являє собою корпус літака де розміщується корисне навантаження та обладнання. У фюзеляжі розміщуються батареї, електромотор, авфоніка та корисне навантаження. За для зменшення аеродинамічного опору що створюється фюзеляжем, була обрана оживальна, овальна форма.

Довжина фюзеляжу – довжина між крайніми точками хвостової та носової частини фюзеляжу.

Максимальна ширина – відстань між крайніми точками

Максимальна висота – висота найбільшого перетину фюзеляжу

Подовження фюзеляжу – це відношення його довжини до діаметру міделевого претину. $\lambda_{\Phi} = \frac{L_{\Phi}}{D_{\Phi}}$

Максимальна площа (площа міделевого) перетину – найбільша площа перетину фюзеляжу площиною, перпендикулярною осі фюзеляжу.

Діаметр фюзеляжу – діаметр найбільшого поперечного перетину.

$$D_{\Phi} = 2\sqrt{\frac{S_M}{\pi}}$$

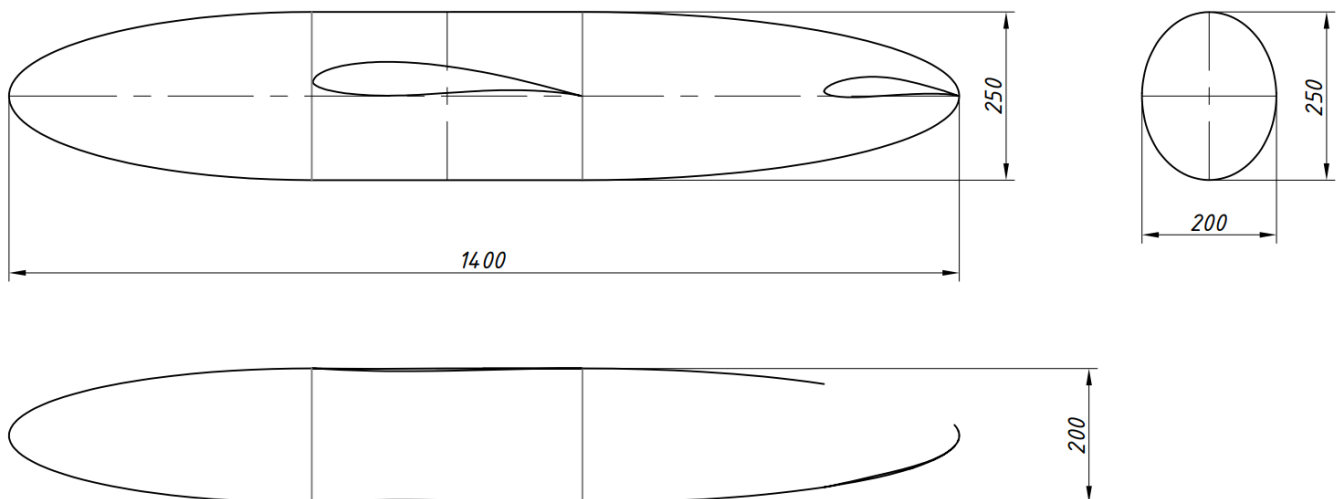


Рис. 2.4. Схема фюзеляжу

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.4 Основні геометричні параметри фюзеляжу

Довжина, м	1,4
Максимальна ширина, м	0,2
Максимальна висота, м	0,25
Максимальна площа (площа міделевого) перетину, м ²	0.157
Діаметр фюзеляжу, м	0,22
Подовження фюзеляжу	6,28

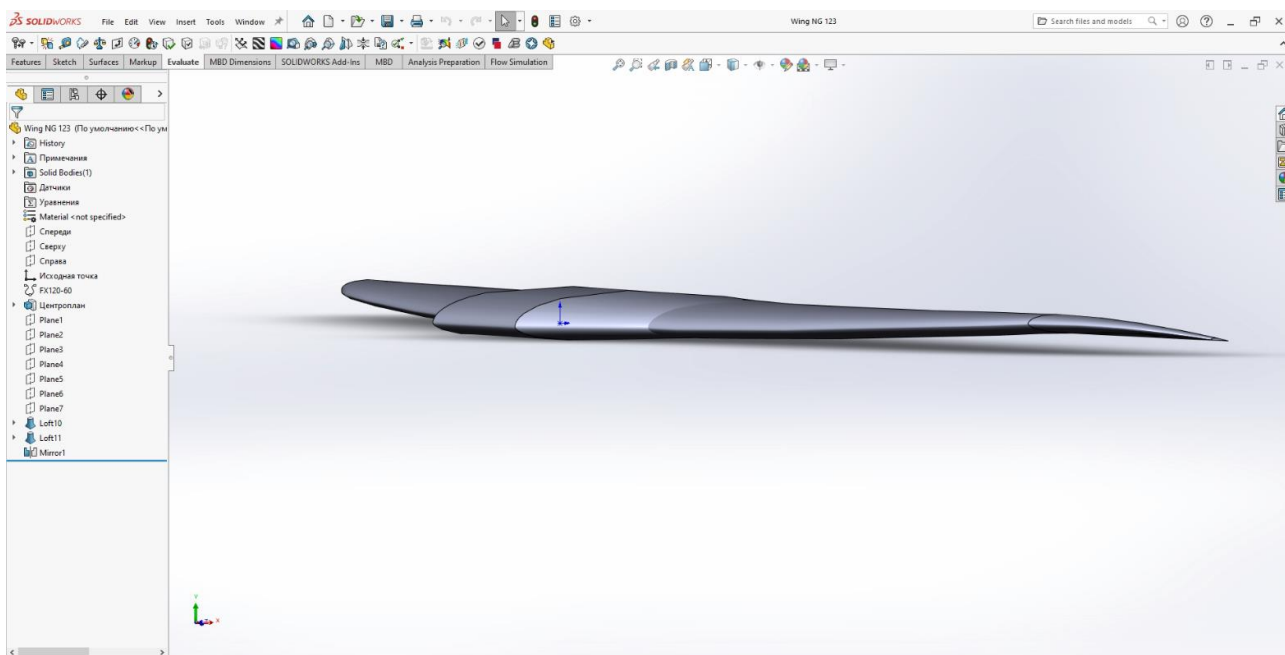
2.2 Створення 3Д моделі БПЛА

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks будемо 3Д модель БПЛА на основі визначених геометричних параметрів.

SolidWorks — продукт компанії SolidWorks Corporation (дочірня компанія Dassault Systèmes), САПР (Система автоматизованого проєктування), інженерного аналізу та підготовки виробництва будь-якої складності та призначення. [3]

Для подальшого проєктування окремо створюємо крило, фюзеляж, та хвостове оперення.

Рис. 2.5 Зовнішній вигляд крила



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

28

Рис. 2.6 Зовнішній вигляд фюзеляжу

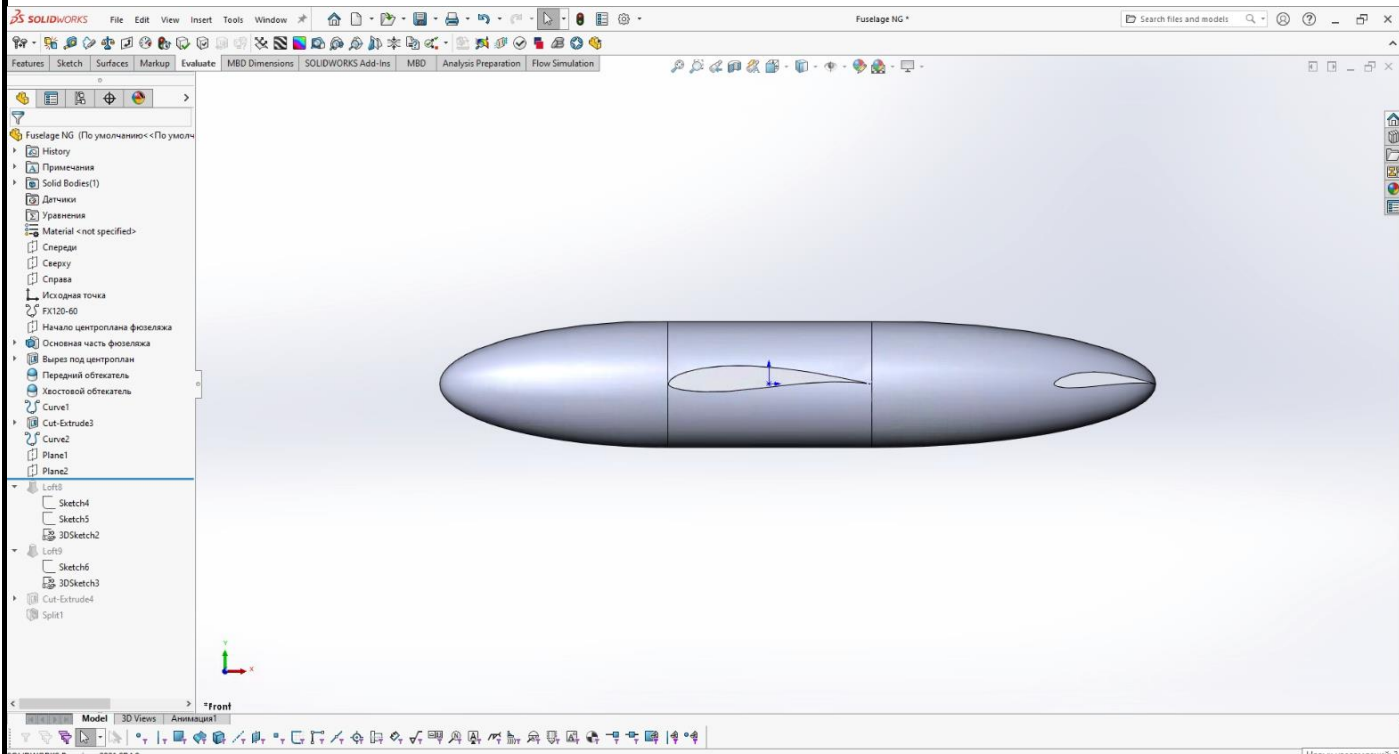
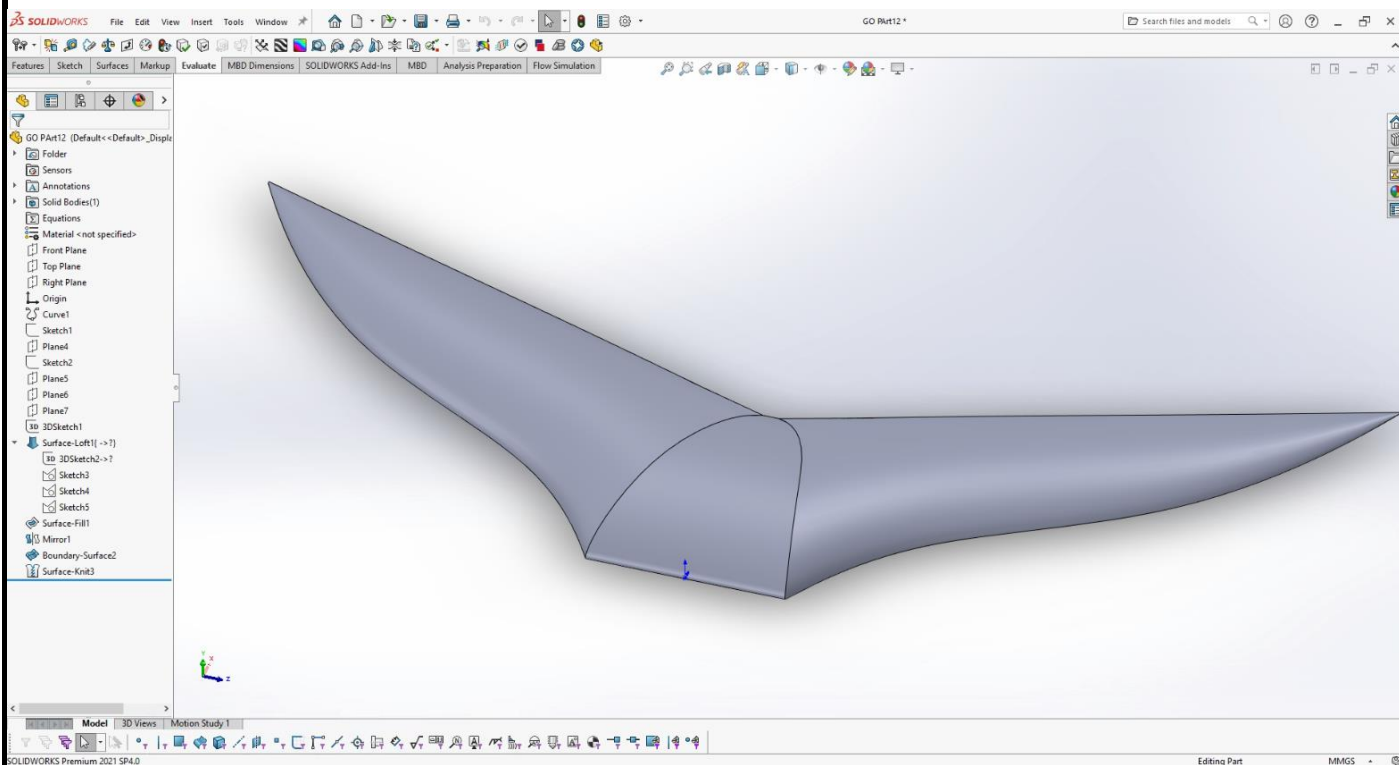
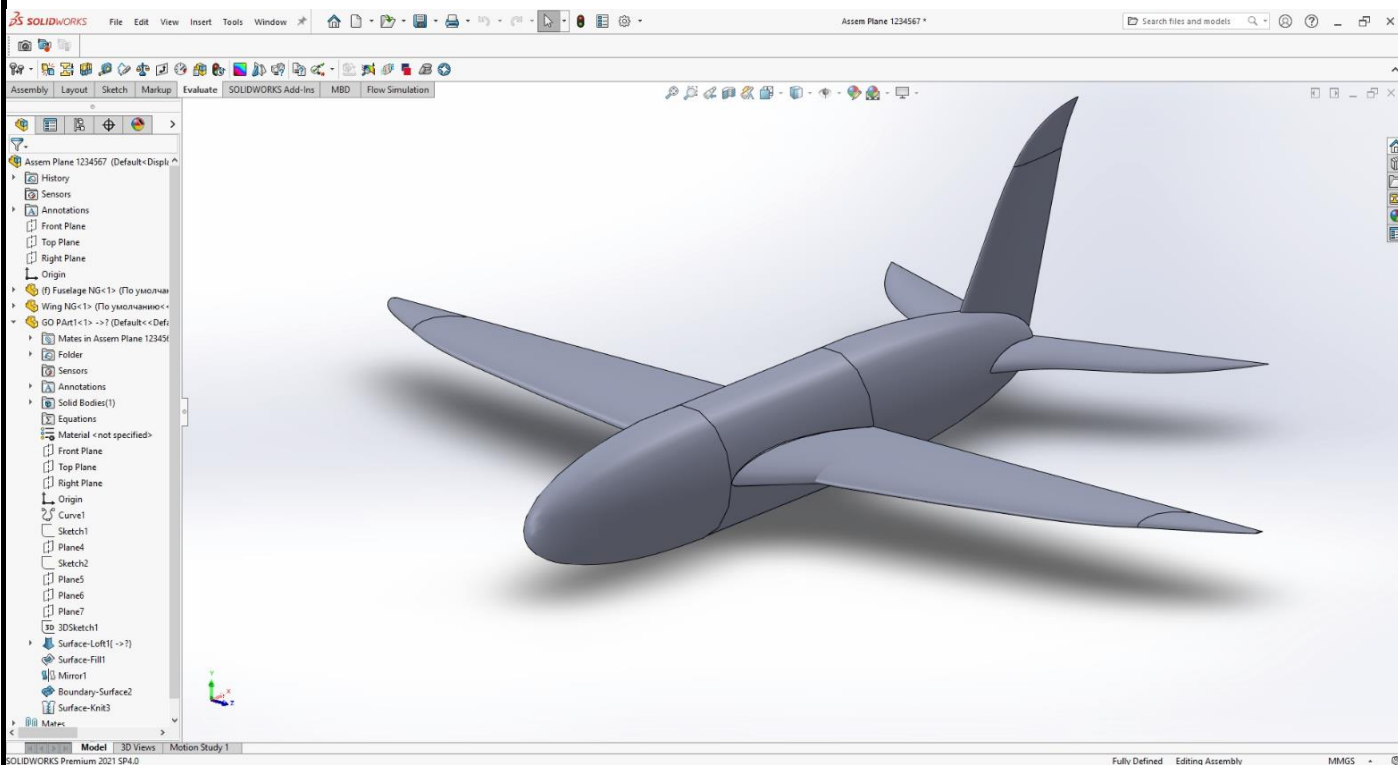


Рис. 2.7 Видяг хвостового оперення



					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис. 2.8 Загальна 3Д модель БПЛА



2.3 Конструктивно силова схема, навантаження що діють на БПЛА

Для даного БПЛА була обрана монопланова конструктивно силова схема зі схемою кріплення крила до фюзеляжу середньоеплан. Також була обрана класична схема однокілевого хвостового оперення.

Монопланова конструктивно-силова схема є найпоширенішою для малих БПЛА літакового типу. У цій схемі літальний апарат складається з одного крила, в якому розташовані всі основні системи для керування БПЛА. Вона забезпечує простоту конструкції та зменшує масу апарату.

Середньопланова схема кріплення крила характеризується встановленням крила в середній частині перетину вюзеляжу. Дана схема забезпечує зниження складності при сборці БПЛА, що є не моловажним при його складанні наприклад в польових умовах. А також при посадці має перевагу в більшій безпеці для крила.

Класична схема хвостового оперення за рахунок кріплення горизонтального та вертикального стабілізаторів також відрізняється своєю міцністю та простотою конструкції.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Основними силовими елементами конструкції БПЛА є карбоновий лонжелон та композитна обшивка, також піноплатовий корпус, астина центроплану посилена, особливо в міці перетину лонжероном. Ці елменти сприймають та витримують основні навантаження що отримує БПЛА.

Силова установка в виді електро-мотору, розташована в носовій частині фюзеляжу, там же знаходиться акумуляторна батарея та авіоніка.

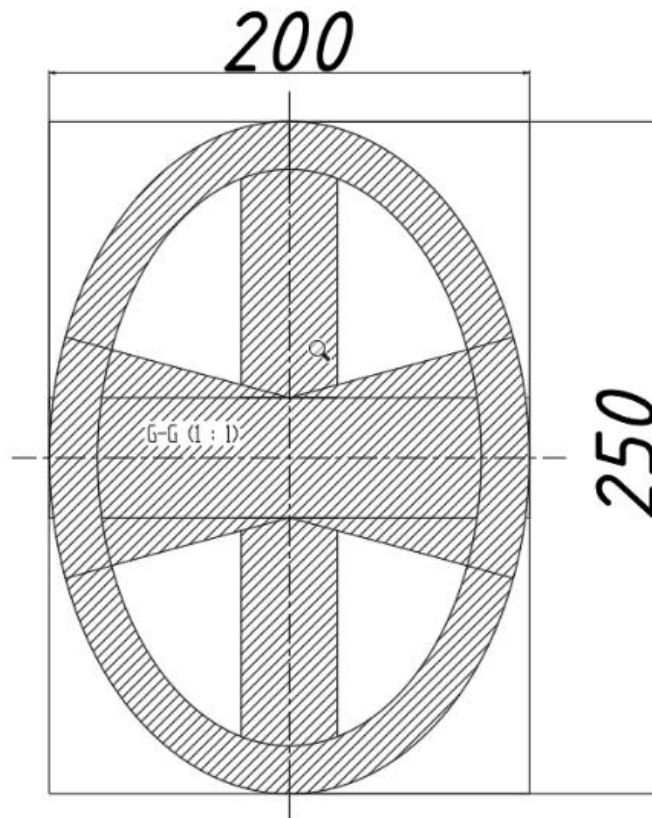
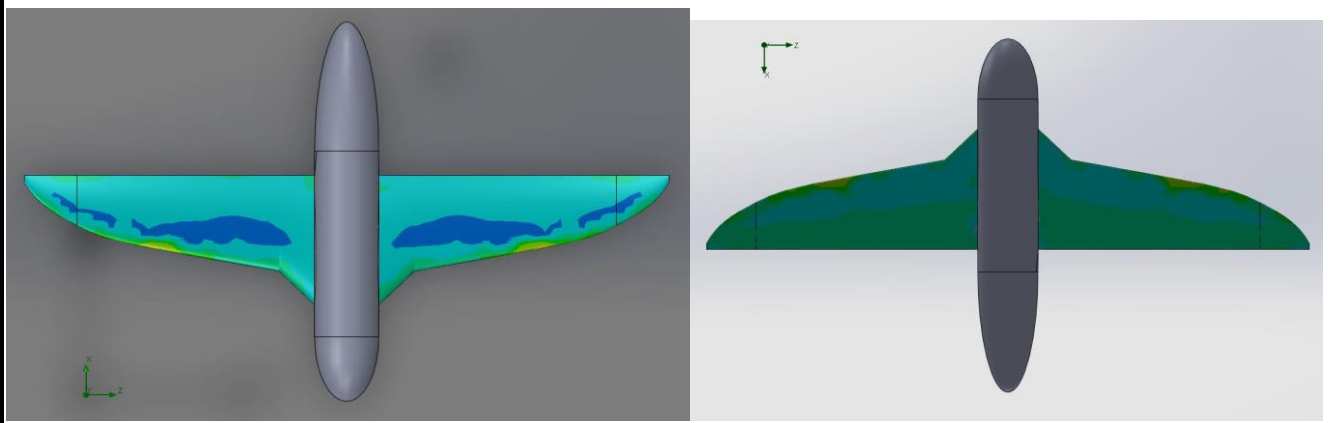


Рис. 2.8 Посилення центроплану

Дію сновних навантажень що діють на даний БПЛА являються зовнішні нагрузки на крило, що складаються з розподіленого аеродинамічного навантаження. Аеродинамічне навантаження спричиняється тиском повітря на крило, що виникає при його обтіканні. $q_{aer} = C_y \frac{\rho V^2 b}{2}$

Застосувавши аеродинамічне проектування програмному забезпеченні SolidWorks, а саме його інструменту Flow Simulation визначимо середній аеродинамічний тиск на крило.



2.9 Розподілення тиску по крилу

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Dynamic Pressure 3	465.588 Pa	Achieved (IT = 81)	0.107144 Pa	465.657 Pa
GG Average Static Pressure 1	101325 Pa	Achieved (IT = 71)	0.0219413 Pa	101325 Pa
GG Average Total Pressure 2	101792 Pa	Achieved (IT = 81)	0.115537 Pa	101792 Pa
GG Normal Force (X) 5	13.3968 N	Achieved (IT = 61)	0.636261 N	13.3112 N
GG Normal Force (Y) 6	45.8264 N	Achieved (IT = 97)	1.09933 N	46.2454 N
GG Normal Force 4	47.7445 N	Achieved (IT = 97)	1.10156 N	48.1233 N

2.10 Вихідні значення за результатами аеродинамічного моделювання

2.3 Об'ємне компонування корисного навантаження

Об'ємне компонування корисного навантаження даного БпЛА обумовлене його конструкцією та розподіленням інших елементів елементів конструкції. А також габаритними розмірами корисного навантаження, що становлять 0.55 м довжини та 0.072 м в діаметрі.



2.10 Місце розміщення корисного навантаження

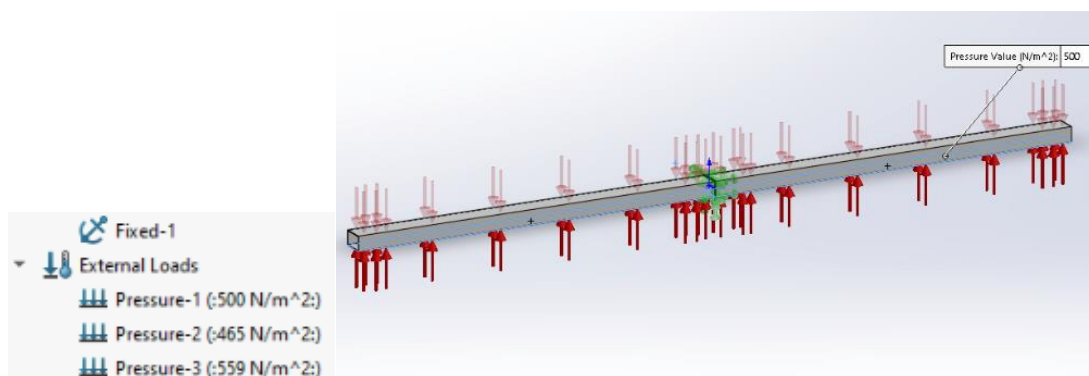
2.4 Міцність конструкції

За силовий елемент конструкції, що несе основне навантаження взято лонжерон крила. Лонжерон даного БПЛА являє собою трубку прямокутного профілю 20x30 мм та довжиною в один метр.

За для розрахунку на міцність застосоване програмне забезпечення SolidWorks, а саме його інструменту SolidWorks Simulation. В розрахунку ураховані навантаження що здійснюються на крило БПЛА.

Property	Value	Units
Elastic Modulus in X	70000	N/mm ²
Elastic Modulus in Y	65000	N/mm ²
Elastic Modulus in Z	65000	N/mm ²
Poisson's Ratio in XY	0.05	N/A
Poisson's Ratio in YZ	0.05	N/A
Poisson's Ratio in XZ	0.05	N/A
Shear Modulus in XY	5500	N/mm ²
Shear Modulus in YZ	0.0055	N/mm ²
Shear Modulus in XZ	0.00055	N/mm ²
Mass Density	1600	kg/m ³
Tensile Strength in X	800	N/mm ²
Tensile Strength in Y	750	N/mm ²
Compressive Strength in X	700	N/mm ²
Compressive Strength in Y	650	N/mm ²
Shear Strength in XY	80	N/mm ²
Yield Strength	700	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient in X	0	/K
Thermal Expansion Coefficient in Y		/K
Thermal Expansion Coefficient in Z		/K
Thermal Conductivity in X	0.2256	W/(m-K)
Thermal Conductivity in Y		W/(m-K)
Thermal Conductivity in Z		W/(m-K)
Specific Heat	1386	J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

2.11 Задаємо параметри матеріала композиту та додаємо новий матеріал.



2.12 Надаємо навантаження що діють на крило та фіксуємо лонжерон

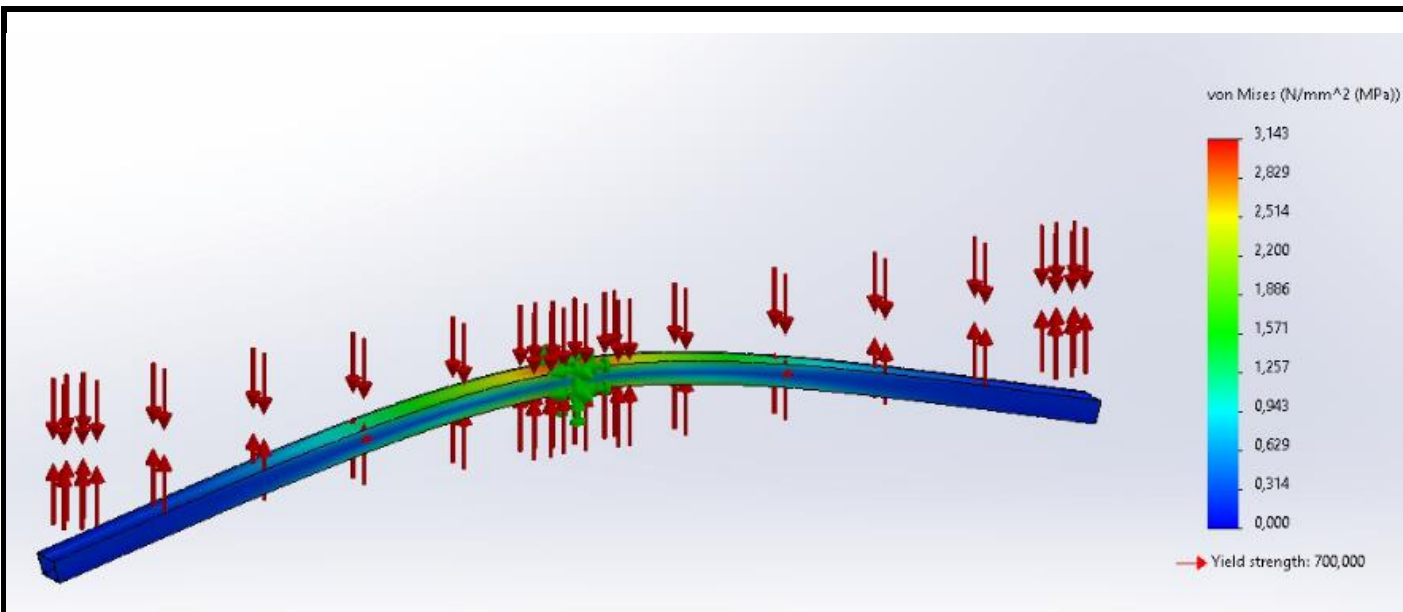


Рисунок. 2.13. – Напруження при згині

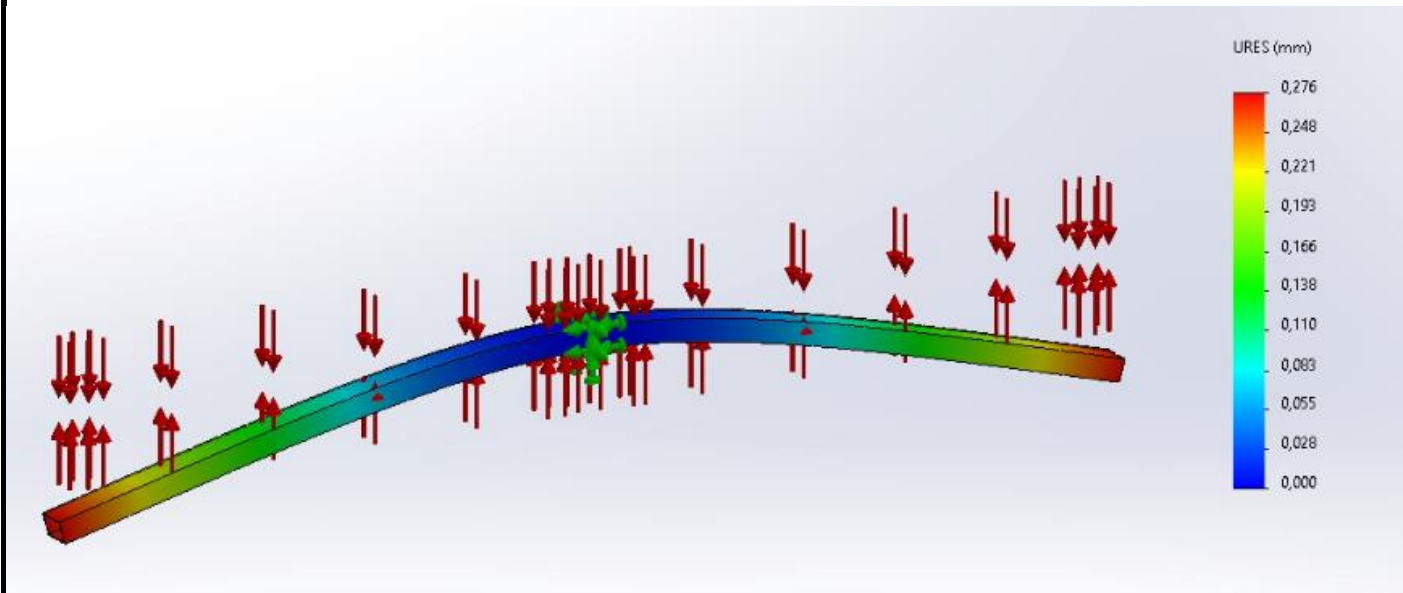


Рисунок. 2.14. – Епюра переміщень лонжерона

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по розділу

В данному розділі я описав основні елементи конструкції, а саме крило, хвостове оперення та фюзеляж. Була створена 3Д модель БПЛА в програмному забезпеченні

SolidWorks, а також описана конструктивно-силова схема та навантаження, що сприймає БПЛА. Також було виділене місце під корене навантаження у фюзеляжі, та розглянуті розрахунки міцності конструкції за допомогою SolidWorks Simulation.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3 АЕРОДИНАМІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ КРИЛА

3.1 Профіль крила

Профіль крила являє собою геометрію поперечного перерізу крила.

Аеродинамічний профіль крила забезпечує такі важливі параметри, як коефіцієнт підйомної сили — C_y , коефіцієнт сили опору — C_x та коефіцієнт аеродинамічної досконалості — K .

Для даного БПЛА був обраний аеродинамічний профіль WORTMANN FX 60-126

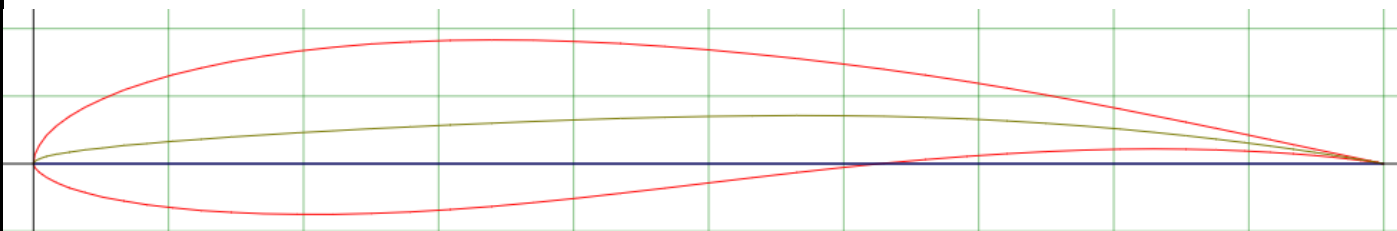


Рис. 3.1 Профіль крила WORTMANN FX 60-126

Підбір здійснювався на основі графіків залежності основних коефіцієнтів до кута атаки. За обраним числом Рейнольдса $Re=200000$

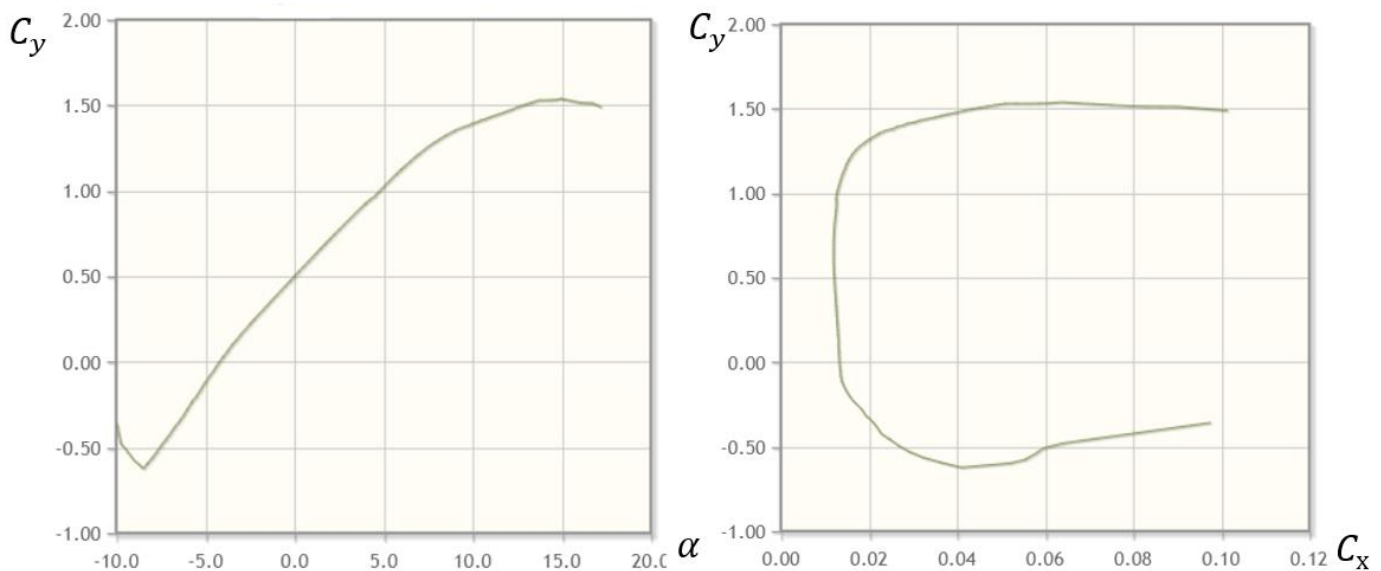


Рис. 3.2 Графік залежності C_y від кутів атаки α ($Re=200000$), та графік залежності C_y від C_x

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

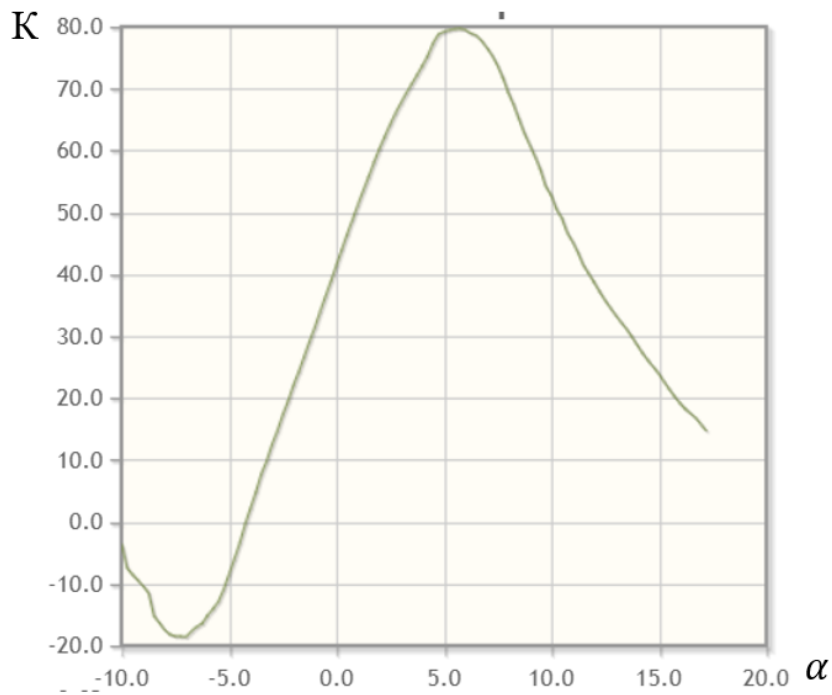


Рис. 3.2 Графік залежності коефіцієнту аеродинамічної досконалості від кутів атаки α ($Re=200000$)

На основі графіків та отриманих коефіцієнтів можна зробити висновок що даний профіль є доволі ефективним та дає гарні показники аеродинамічної досконалості при широкому спектрі кутів атаки.

3.1 Створення розрахунків в CFD

Обчислювальна гідродинаміка CFD (Computational fluid dynamics) — це розділ механіки рідини, який використовує числовий аналіз і структури даних для аналізу та розв’язання проблем, пов’язаних із потоками рідини.

Розрахунки проведені в програмному забезпеченні SOLIDWORKS Flow Simulation — це загальний інструмент параметричного моделювання потоку, який використовує метод кінцевого об’єму для розрахунку продуктивності продукту. Для модуля Flow Simulation немає різниці між геометричними сутностями, створеними в SolidWorks або імпортованими в базовий модуль. Забезпечується підтримка для 64-розрядних операційних систем з доступом до всієї доступної оперативної пам’яті. Також використовується багатопроцесорність при вирішенні.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

В першу чергу задаються параметри обчислювальної області (computational domain). А також параметри середоща, такі як газ чи рідина, тиск, швидкість потоку, та інші.

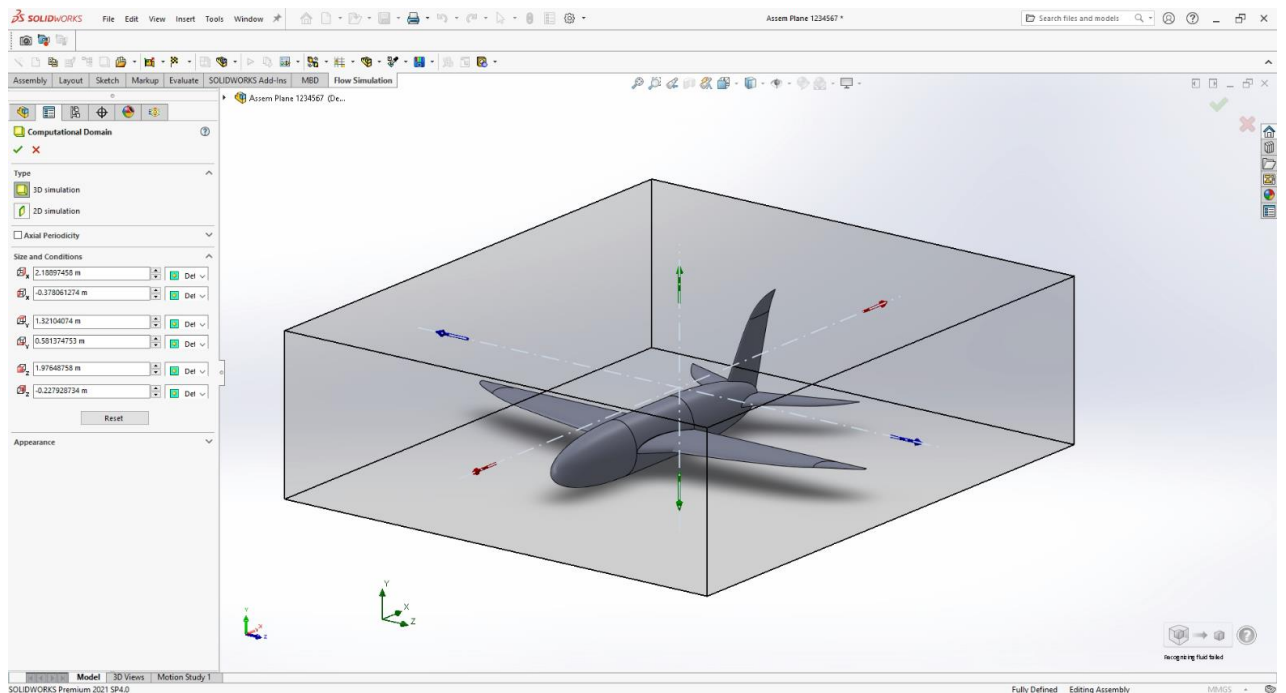


Рис. 3.3 Задання параметрів computational domain у Flow Simulation

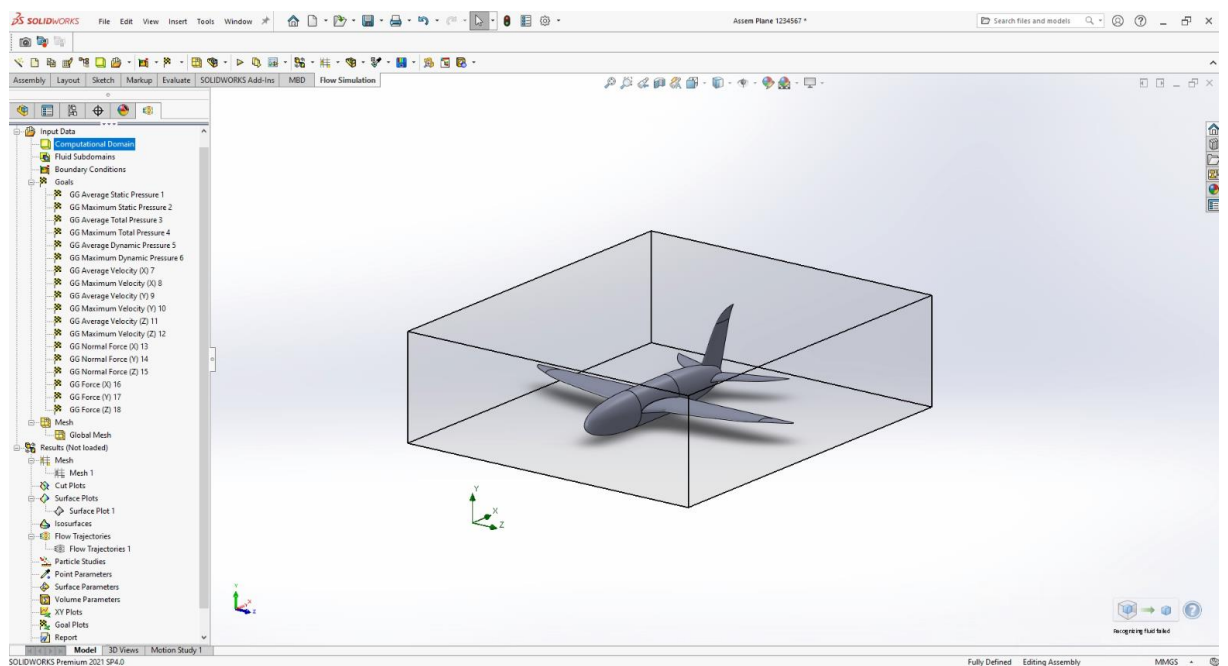


Рис. 3.4 Задання цілей на розрахунок на параметри їх виведення

Надалі йде виведення результатів дослідження. Що дають розуміння про розподілення тиску по крилу.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

38

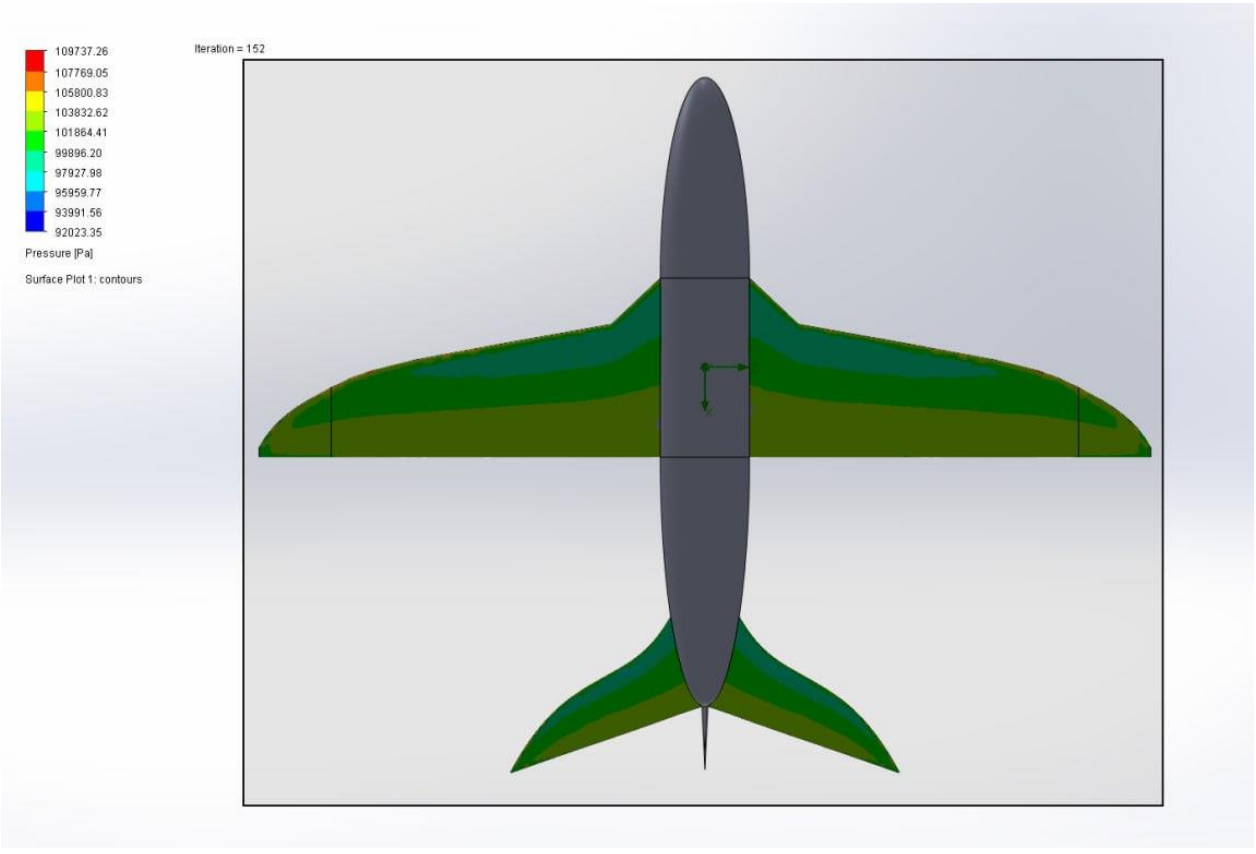


Рис. 3.5 Виведення результатів, загальні види літака

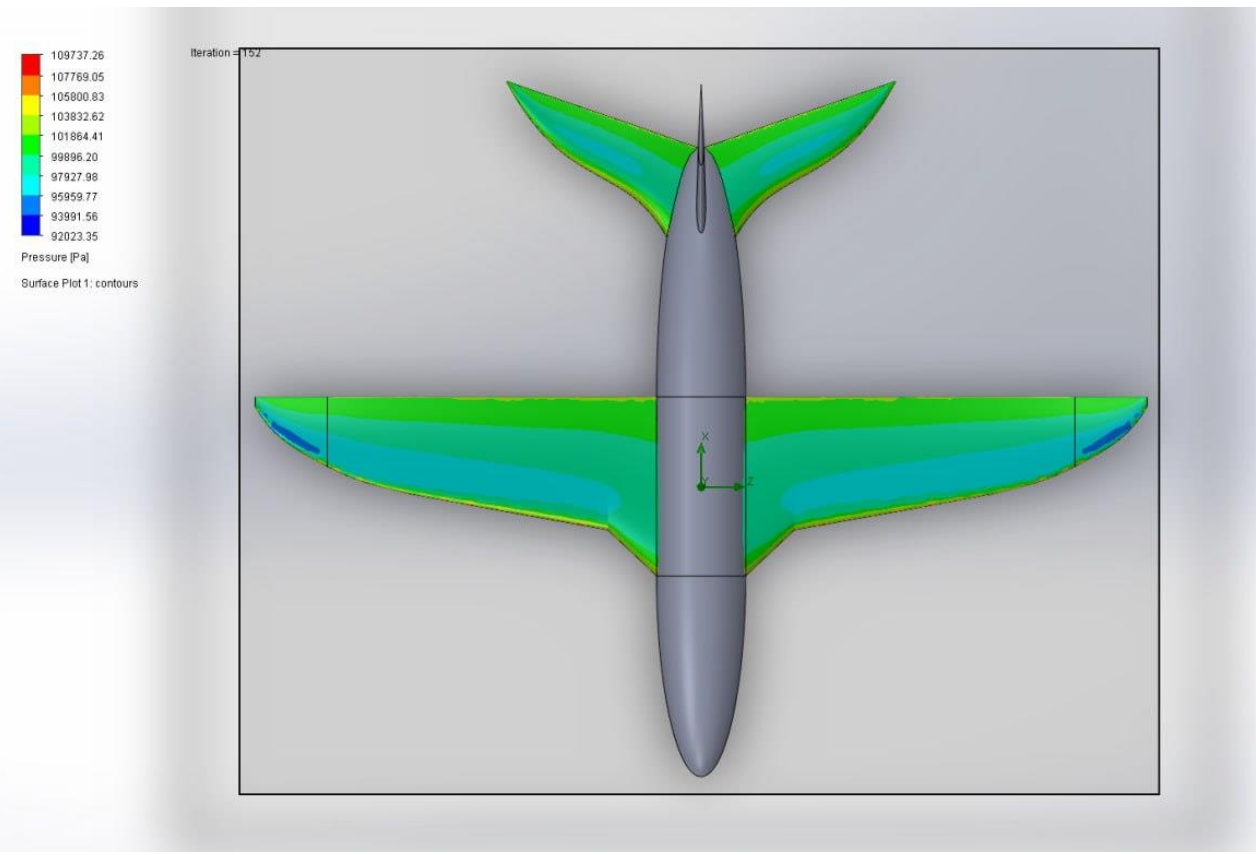


Рис. 3.6 Виведення результатів, загальні види літака

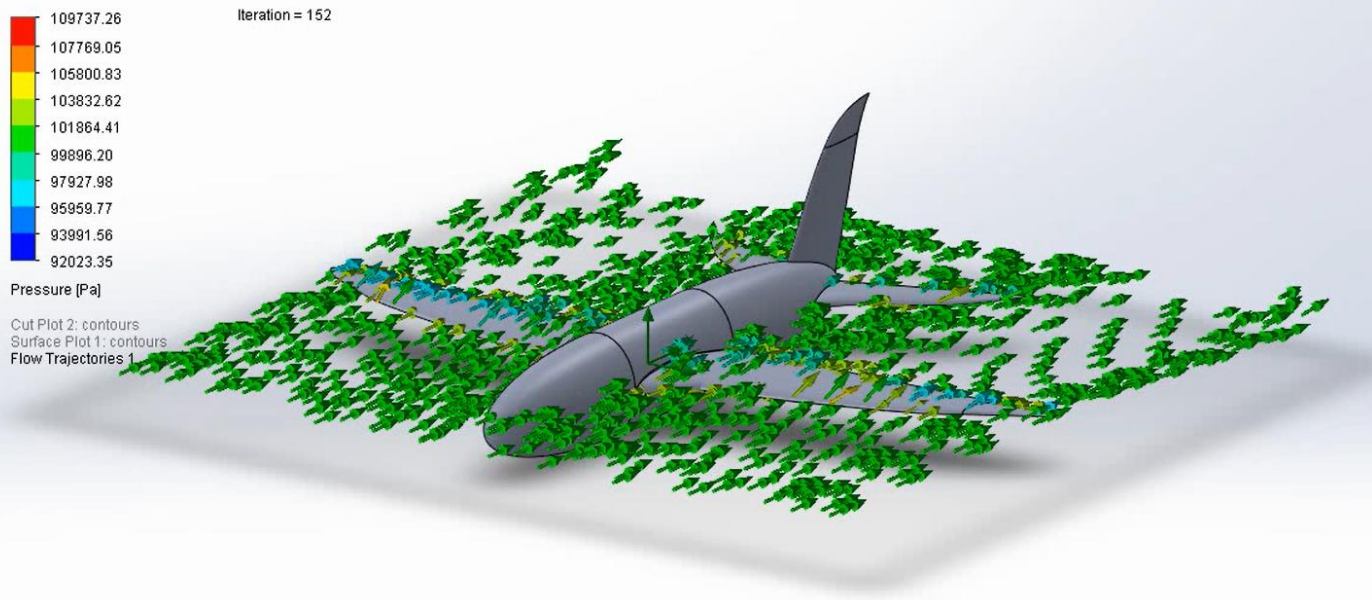


Рис. 3.6 Виведення результатів, лінії току

3.3 Вибір оптимального кута атаки

Також для вибору оптимального кута атаки були проведені додаткові розрахунки у програмному забезпеченні Pansym. А саме було створено крило для подальших розрахунів.

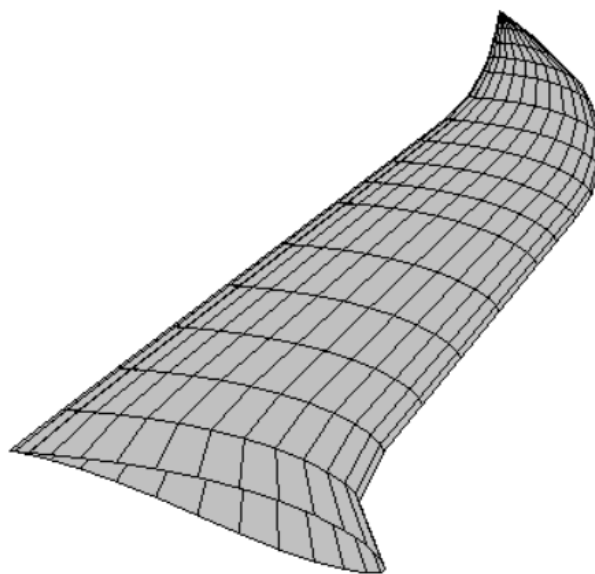


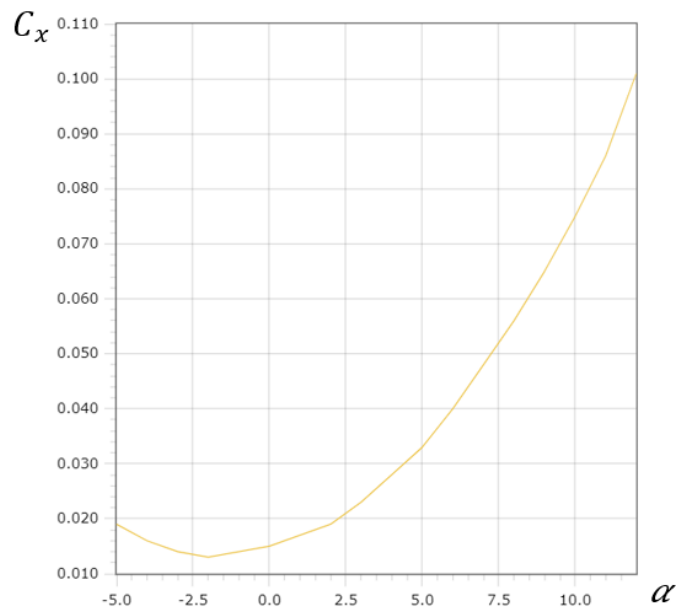
Рис. 3.7 Консоль крила побудовна в Pansym

Для вибору найбільш ефективного кута атаки проводимо розрахунки та виводимо дані основних аеродинамічних коефіцієнтів. Заводимо дані до таблиць та створюємо графіки .

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Залежність C_x від α

α	C_x
-5	0,0190
-4	0,0160
-3	0,0140
-2	0,0130
-1	0,0140
0	0,0150
1	0,0170
2	0,0190
3	0,0230
4	0,0280
5	0,0330
6	0,0400
7	0,0480
8	0,0560
9	0,0650
10	0,0750
11	0,0860
12	0,1010

Рис. 3.8 Графік залежність C_x від α

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

41

Таблиця 3.2. Залежність C_y від α

α	C_y
-5	-0,05800
-4	0,027
-3	0,111
-2	0,194
-1	0,276
0	0,357
1	0,439
2	0,522
3	0,591
4	0,666
5	0,745
6	0,817
7	0,895
8	0,975
9	1,049
10	1,12
11	1,196
12	1,277

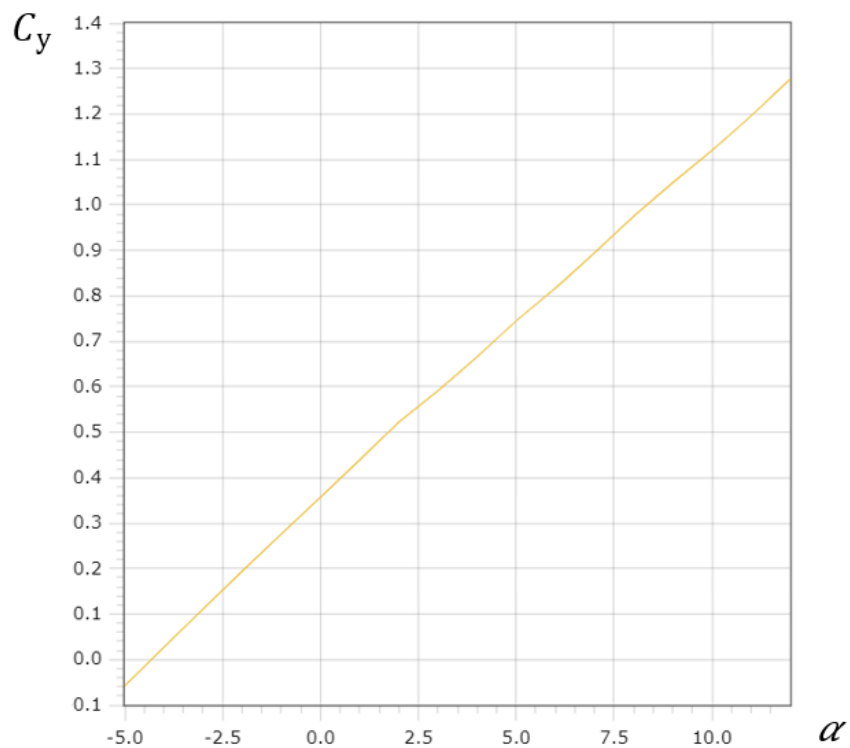


Рис. 3.9 Графік залежність C_y від α

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

42

Таблиця 3.3. Залежність C_y від C_x

C_x	C_y
0,01900	-0,05800
0,016	0,027
0,014	0,111
0,013	0,194
0,014	0,276
0,015	0,357
0,017	0,439
0,019	0,522
0,023	0,591
0,028	0,666
0,033	0,745
0,04	0,817
0,048	0,895
0,056	0,975
0,065	1,049
0,075	1,12
0,086	1,196
0,101	1,277

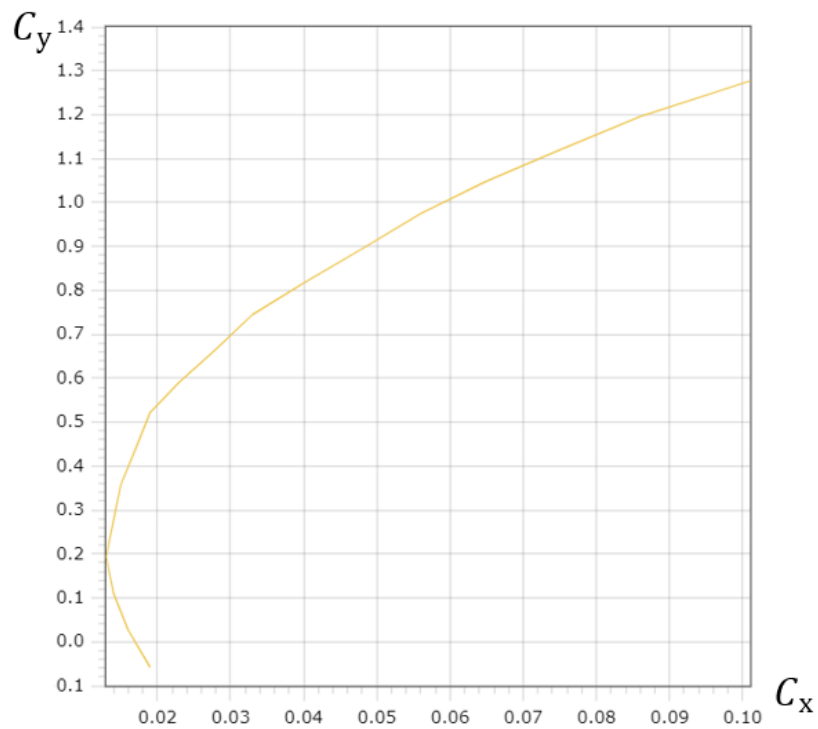
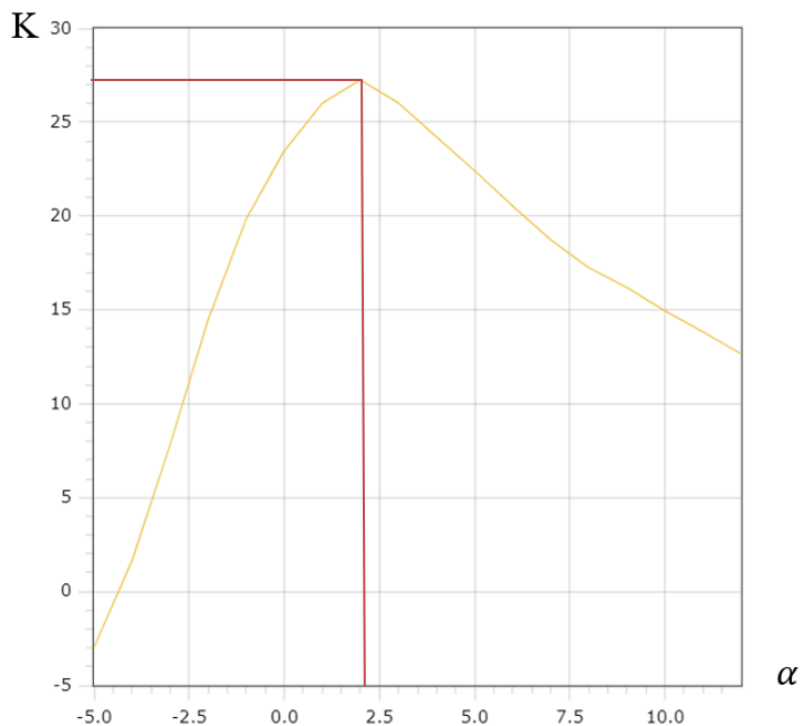


Рис. 3.10 Графік залежність C_y від C_x

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.4. Залежність К від α

α	К
-5	-2,97437
-4	1,634871845
-3	7,808935999
-2	14,4746258
-1	19,84488658
0	23,48315717
1	26,01244166
2	27,25422136
3	26,01480972
4	24,21930679
5	22,4144465
6	20,53234423
7	18,73816375
8	17,25205514
9	16,20098361
10	14,9449306
11	13,83324908
12	12,66444334

Рис. 3.11 Графік залежність К від α

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

44

З отриманих розрахунків та графіки отримаємо, що крило та вибраний профіль дають порівнянно гарні аеродинамічні коефіцієнти, що сутево впливають на аеродинамічні характеристики БпЛА, також було визначено що найвигідніши кутом атаки є $\alpha=2^\circ$.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по розділу

В цьому зоділі я розглянув профількрила FX 60-126 та його аеродинамічні характеристики, створив розрахунок за допомогою SOLIDWORKS Flow Simulation та обрав найефективніший кут атаки крила.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Вибір матеріалів

При виборі матеріалів для створення моделі данного БпЛА, на меті стояла зменшення його вартості, тому були для простоти виготовлення та дешевезни одиниці БпЛА були обрані такі розповсюджені моделях беспілотників матеріали як пінопласт, склотканина та епоксидна смола.

Переваги використання пінопласту

Легкість : Пінопласт є легким матеріалом, який має низьку щільність. Це дозволяє знизити вагу БпЛА, що в свою чергу покращує енергоефективність, збільшує час польоту та дозволяє збільшити корисне навантаження. Незважаючи на свою легкість, пінопласт може мати достатню міцність для використання в БпЛА. Армоманий склотканиною пінопласт може витримувати зовнішні впливи, такі як вітер, м'які удари або невеликі пошкодження, без серйозних наслідків для апарату. Це робить його досить надійним матеріалом для виготовлення корпусу БпЛА.

Легкість обробки: Пінопласт є легким у роботі та обробці матеріалом. Він може бути легко формований у різні конструкції та розміри, що дає гнучкість у виготовленні корпусу БпЛА. Легкість обробки пінопласту також забезпечує можливість швидкого виготовлення прототипів та модифікацій.

Вартість: Пінопласт є відносно дешевим матеріалом порівняно з іншими альтернативами. Це дозволяє знизити вартість виготовлення БпЛА і зробити його більш доступним.



Рис. 4.1 Пінопласт щільністю 16 кг/куб.м

						АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			47



Рис. 4.2 Епоксидна смола та затверджувач до неї

Використовувалися для виготовлення композитної обшивки БпЛА



Рис. 4.3 Рулон зі склотканиною

Склотканина для даного проекту була обрана саржевого плетіння, за для найкращого огинання криволінійних поверхонь корпусу. Ця склотканина має щільність 163 грам на метр квадратний, що дозволить виконати обшивку з одного шару склотканини.

4.2 Технологія для створення моделі

Для створення корпусу БпЛА було застосовано технологію створення пінопластавих частин для подальшого зклеювання та складання.

Виготовлення частин крила було досягнуто за допомогою різача по пінопласту з нагрівальною ніхромовою ниткою, це забезпечило простоту обробки пінопласту та його подальшого армування за допомогою ручної викладки склотканини, пропитаною епоксидним складом, для подальшого затвердіння конструкції. А саме епоксидної смоли змішаної з затверджуваче в пропорції 100:40.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

48

Процес виготовлення складався з декількох етапів, перш за все були створені трафарети для збереження зпроектованої форми та геометричних розмірів елементів, під час обробки пінопласту різакром.

Надалі вже заготовлені елементи зклеювалися силікатним клеєм та оброблялися наждачним папером за для покращення поверхні перед ручною викладкою.



Рис.4.4 Виготовлена пінопластова консоль крила



Рис.4.4 Виготовлений пінопластовий фюзеляж

За для покращення якості викладки були застосовані залишки пінопласту покриті плівкою за для щільного прилягання склотканини до елементів корпусу.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49



Рис.4.5 Залишки пінопласту, що покращують прилягання склотканини

За для ефективного використання матеріалів проведення викладки склотканини повино бути поетапним та вивіреном за часом через швидке застигання епоксидної смоли, що може призвести до небеспчних ситуацій на місці виклейки.



Рис.4.6 Частина крита після виклейки

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

4.2 Оптимізація виготовлення

Показаний спосіб виготовлення є дешевим та не потребує складного обладнання, але за для оптимізації процесу виготовлення доречним буде застосування верстану ЧПК, що забезпечить якісне виготовлення пінопластових делалей із збереженням всіх геометричних параметрів.



Рис.4.7 Фрезерний верстат ЧПК для обробки пінопласу

А також доцільним було б використання матриці для найкращої якості виготовлення композитної обшивки. Технологія ручної викладки по матриці, з застосуванням вакууму, дозволить набагато покращити якість виготовлення композитного корпусу.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

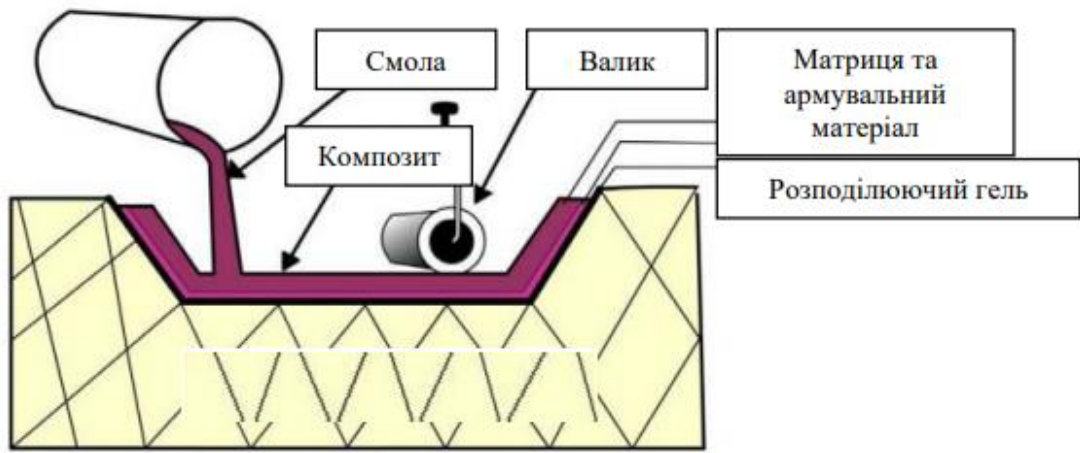


Рис.4.8 Технологія ручної викладки композиту

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

52

Висновки по розділу

В цьому розділі було описано вибір матеріалів для створення моделі БПЛА, технологію що була застосована під час створення елементів моделі. Кінцевим пунктом розділу була оптимізація процесу виготовлення.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>53</i>

5.1 Аналіз та прогнозування валютного курсу

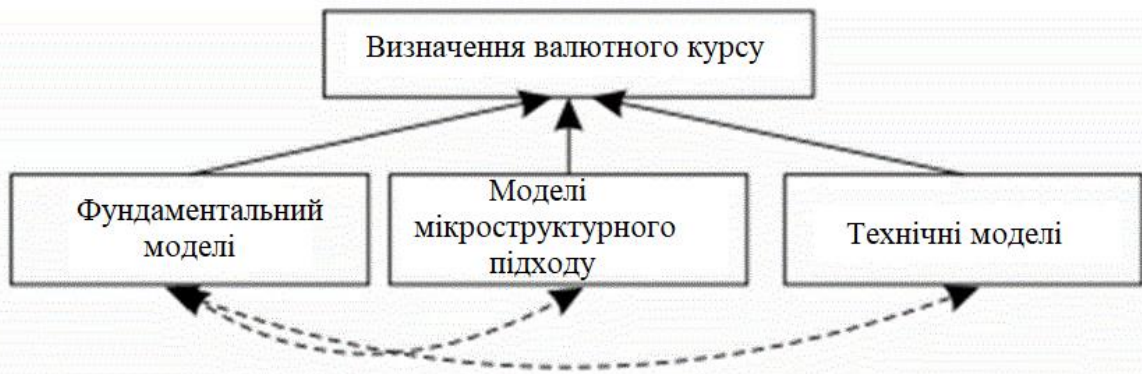


Рис. 5.1. Модель визначення валютного курсу

Центральні банки будуть виділені в окрему групу учасників валютного ринку. Кожна група цих учасників ринку має різну мету перебування на біржовому ринку, їхній інвестиційний горизонт все ще різний. Зростаюча кількість учасників ринку та збільшення обсягів міжнародної торгівлі призводять до великого попиту на прогнози вартості одиниці. З іншого боку, кількість речей, які впливають на коливання обмінних курсів, неоднорідність учасників ринку, кількість економічних інструментів, які дозволяють реалізувати вплив на обрану валюту, а отже, організаційна форма (позабіржова система) Ринок ускладнює метод формування прогнозів курсів.



Рис. 5.2 Оподаткування юридичних осіб

Податок на юридичні особи в Україні становить 18%.

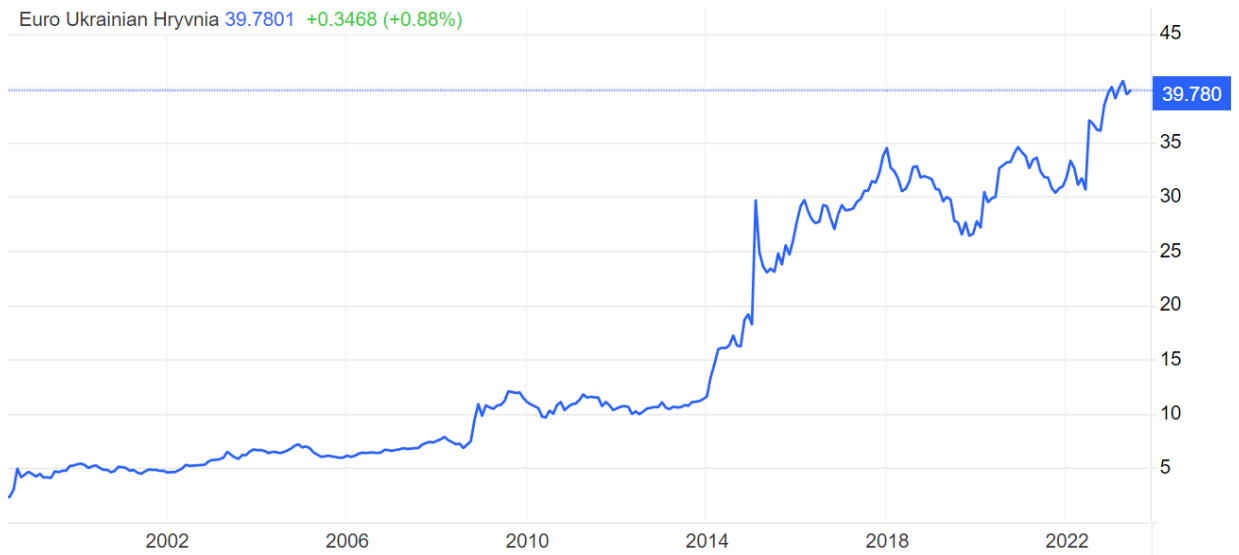


Рис. 5.3 Євро до гривні протягом останніх 25 років



Рис. 5.4 Євро до гривні протягом останнього року

1 червня, українська гривня торгувалася на рівні 39,5576, збільшившись на 0,1242 або 0,32 відсотка порівняно з попередньою торговою сесією.

Озираючись назад, за останні чотири тижні курс євро до гривні зріс на 2,61%.

За останні 12 місяців його ціна зросла на 25,86 відсотка. Забігаючи наперед, ми прогнозуємо, що ціна євро української гривні становитиме 40,3748 до кінця цього кварталу та 43,0571 через рік, згідно з прогнозами глобальних макромоделей Trading Economics та очікуваннями аналітиків.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9117.16.00.00.00ПЗ

Арк.

55

5.2 Ціноутворення та прогнозування виходів від продажів

Після оцінки ринку ми зрозуміли, що хороша ціна за один БПЛА буде 3000 євро. Не потрібна реклама, не потрібні знижки. Оскільки ми будемо розраховувати на військових.

У 2022 і 2023 роках виробляються лише прототипи. У 2024 році ми плануємо виготовити 10 літаків. У 2025 році ми плануємо виготовити 20 літаків.

Підрахуємо загальний дохід.

$$TR_{2022} = P \times Q_{2022} = 3000 \times 0 = 0 \text{ євро}$$

$$TR_{2023} = P \times Q_{2023} = 3000 \times 0 = 0 \text{ євро}$$

$$TR_{2024} = P \times Q_{2024} = 3000 \times 10 = 30000 \text{ євро}$$

$$TR_{2025} = P \times Q_{2025} = 3000 \times 20 = 60000 \text{ євро}$$



Рис. 5.5 Загальна виручка

5.3 Оцінки для інженерного рішення

Таблиця 5.1. Оцінка грошових потоків

Discount rate 0	2022	2023	2024	2025
	Рік 0	Рік 1	Рік 2	Рік 3
Інвестиції	-133	-1 345	-12 190	-23 290
Поточні затрати	-140	-115	-1 105	-2 205
Загальна виручка	0	0,0	30 000,0	60 000,0
Загальний річний грошовий потік		-1 733,0	14 972,0	49 477,0
Інвестиції зі знижкою	-273	-1 733	Н/Д	Н/А
Дисконтований загальний річний грошовий потік	-273	-1 733,0	Н/Д	Н/Д
Непокриті витрати	-273	-1 733,0	Н/Д	Н/Д
Дисконтовані непокриті витрати	-273	-1 733,0	Н/Д	Н/А

Таблиця 5.2. Розрахунок індикаторів

Термін окупності	1,00
Чиста поточна вартість	47697,9
ІІІ	175,718

Висновок по розділу

Ця сфера бізнесу дуже гарна, для отримання загального доходу потрібно всього 2 роки: 0 і 1 рік (2022 і 2023). Матеріали для виготовлення недорогі і доступні. Попит на такі літаки дуже великий з огляду на війну в Україні. З таким загальним доходом загальний річний грошовий потік стане позитивним у 2024 році, це означає, що у 2024 році інвестори отримають усі свої гроші назад.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Висновок

В першому розділі цієї роботи було освітлено постановку задачі з оглядом на аналоги. Мною було розглянуто та порівняно характеристики трьох БпЛА.

В другому розділі було описано конструкцію безпілота, зокрема його конструктивно-силової схеми та навантаження, що діють на БпЛА. А також створена його 3D модель. Була описана компоновка корисного навантаження та виконано розрахунки міцності конструкції.

В третьому розділі цього проекту було підібрано та розглянуто аеродинамічний профіль крила, створено розрахунки CFD SolidWorks, а також виходячи з розрахунку підібрано оптимальний кут атаки.

Четвертий розділ описує технологію виготовлення. В першому пункті розділу освітлено вибір матеріалів. В другому пункті було описано технологію виготовлення моделі і в третьому пункті було роз'яснено оптимізацію виготовлення БпЛА.

У п'ятому розділі під час опису економічного проекту було освітлено аналіз та прогнозування валютного курсу, ціноутворення та прогнозування виходів від продажів. Останнім пунктом було зароблено оцінки для інженерного рішення.

					<i>АЛ9117.16.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лекція №6 з навчальної дисципліни «Аеродинаміка та динаміка польоту літака» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pptonline.org/45544>
2. Лекція №6 з навчальної дисципліни «Аеродинаміка та динаміка польоту літака» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pptonline.org/44978>
3. Studfile [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/7622691/page:12/>
4. «Енциклопедія по машинобудуванню» [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://mash-xxl.info/page/112114068174182236220023158087033107081220050018/>
5. САПР Solidworks [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation>
6. Сайт Airfoiltools [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://airfoiltools.com/>
7. Tradingeconomics [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tradingeconomics.com>
8. Егер С.М. «Проектування літаків» / Егер С.М.
9. «Проектування конструкції та САУ БПЛА з урахуванням аеропружності. Постановка та методи вирішення завдань» / Парафесь С.Г.

					АЛ9117.16.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60