

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

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

До захисту допущено
В. о. завідувача кафедри
_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ
« » __ __ 2023 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»
спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
на тему: «Крило оперативно- тактичного БПЛА»**

Виконав:
студент IV курсу, групи АЛ-91
Євдокимов Нікіта Юрійович _____

Керівник:
старший викладач кафедри
Яковенко Петро Олексійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті 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

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту(-ці)

Євдокимову Нікіті Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «**Крило оперативно- тактичного БПЛА**», керівник проекту Яковенко Петро Олексійович, старший викладач кафедри, затверджені наказом по університету від «31» травня 2023 р. №2085-с
2. Термін подання студентом проекту 06 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

3.1 *Висота польоту $H=0\dots5000$ м.*

3.2 *Крейсерська швидкість польоту $V= 190$ км/год.*

3.3 *Злітна маса $m=200$ кг.*

3.4 *Розмах крил $b= 5$ м.*

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 *Огляд аналогів.*

4.2 *Особливості крила сучасних БПЛА.*

4.3 *Опис конструкції крила.*

4.4 *Аеродинамічні характеристики крила.*

4.5 *Вибір типу та параметрів механізації крила.*

4.6 *Вибір конструктивної схеми крила.*

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

5.1 Огляд аналогів.

5.2 Опис конструкції крила.

5.3 Аеродинамічні характеристики крила.

5.4 Механізація крила. Конструктивна схема крила.

5.5 Моделювання крила.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 4 квітня 2023 р.
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір та аналіз літератури.	до 10.04.2023 р.	
2.	Огляд і аналіз аналогів.	до 20.04.2023 р.	
3.	Створення аеродинамічної моделі крила.	до 30.04.2023 р.	
4.	Визначення аеродинамічних характеристик крила.	до 10.05.2023 р.	
5.	Розрахунок аеродинамічних характеристик крила.	до 15.05.2023 р.	
6.	Вибір типу і параметрів механізації крила.	до 20.05.2023 р.	
7.	Вибір конструктивної схеми крила.	до 30.05.2023 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів. Відгук керівника ДП	до 06.06.2023 р.	
9.	Перевірка на плагіат, рецензування	до 11.06.2023 р.	
10.	Захист дипломного проекту	із 14.06.2023 р. по 20.06.2023 р.	

Студент (-ка) _____

Євдокимов Нікіта

Керівник ДП _____

Петро Яковенко

Анотація

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Крило оперативно-тактичного БПЛА» містить: 53 сторінки, 34 рис, 17 літературних джерел, 1 додаток

Мета проекту – розробка крила оперативно-тактичного БПЛА.

В результаті виконаний огляд даних прототипів безпілотних літальних апаратів по темі проекту, сформульовано стан проблеми і напрямок її вирішення. Розглянуто особливості аеродинаміки крил, детально викладені результати робочого проектування, аеродинамічні та льотно-технічні характеристики. На підставі виконаного аналізу сформовано ТЗ до проекту та визначено шляхи його реалізації.

В роботі широко використані методи комп'ютерного моделювання з урахуванням можливості серійного виробництва.

Результати роботи можуть бути використані при розробці технічної документації до проекту масового безпілотного літального апарату.

Ключові слова: БПЛА, крило, поляра, аеродинамічна якість.

Abstract

The explanatory note to the diploma project "The wing of an operational-tactical UAV" contains: 53 pages, 34 features, 17 literary sources, 1 addition

The goal of the project is to develop the wing of an operational-tactical UAV.

As a result, a review of the prototypes of unmanned aerial vehicles on the topic of the project was carried out, the state of the problem and the direction of its solution were formulated. The features of the aerodynamics of the wings are considered, the results of the working design, aerodynamic and flight technical characteristics are detailed. On the basis of the performed analysis, the TOR for the project was formed and the ways of its implementation were determined.

In the widely used computer modeling techniques with the possibility of mass production.

The results can be used in the development of technical documentation for the project of mass UAV.

Keywords: UAV, wing, polar, aerodynamic quality.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ	Пояснювальна записка	53	
3	A1	АЛ9107.16.20.00.01 ІМ	Огляд аналогів	1	
4	A1	АЛ9107.16.20.00.02 ІМ	Опис конструкції крила.	1	
5	A1	АЛ9107.16.20.00.03 ІМ	Аеродинамічні характеристики крила.	1	
6	A1	АЛ9107.16.20.00.04 ІМ	Механізація крила. Конструктивна схема крила.	1	
7	A1	АЛ9107.16.20.00.05 ІМ	Моделювання крила БПЛА	1	
			АЛ9107.16.20.00.0000		
	П.І.Б.	Підп.	Дата		
Розробив	Євдокимов Н. Ю.			Аркуш	Аркушів
Перевірив	Яковенко П. О.			1	1
				<i>Відомість дипломного проекту</i> КПП ім. Ігоря Сікорського Каф. <u>АРБ</u> Гр. АЛ-91	
Н. контр.					
Зав. каф.	Бондаренко О. М.				

**Пояснювальна записка до
дипломного проекту**

на тему: «Крило оперативно-тактичного БПЛА»

Київ – 2023 рік

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1.ОГЛЯД АНАЛОГІВ.....	15
1.1 АН-БК-1 “Горлиця”	15
1.2 БпАК-МП-1 «Spectator»	18
1.3 БПЛА IAI « <i>Searcher I</i> »	21
1.4 Таблиці основних характеристик БПЛА	23
Висновки по розділу.....	23
2.ОСОБЛИВОСТІ КРИЛА СУЧАСНИХ БПЛА.....	24
Висновки по розділу.....	27
3.ОПИС КОНСТРУКЦІЇ КРИЛА.....	28
3.1 КРИЛО. ПРИЗНАЧЕННЯ КРИЛА.....	28
Висновки по розділу.....	37
4.АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИЛА.....	38
Висновки по розділу.....	40
5.ВИБІР ТИПУ ТА ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА.....	41
5.1 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ЗАКРИЛКІВ.....	45
5.1 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕРОНІВ.....	49
Висновки по розділу.....	49

6.ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ КРИЛА.....	51
Висновки по розділу.....	53
7.МОДЕЛЮВАННЯ КРИЛА.....	54
Висновки по розділу.....	55
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ.....	63

БПЛА – Безпілотний літаючий апарат.

ТБпАК – Тактичний безпілотний авіаційний комплекс.

БпАК – Безпілотний авіаційний комплекс.

кв. м. – квадратний метр.

ТЗ – технічне завдання.

					ВСТУП	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проектування крила оперативно-тактичного безпілотного літального апарату (БПЛА) є актуальною та складною проблемою в сучасному авіаційному та аерокосмічному інжинірингу. Застосування безпілотних літальних апаратів знаходить все більше використання в різних сферах, включаючи військовий, громадський та промисловий сектори. Крило відіграє ключову роль у функціонуванні БПЛА, впливаючи на його польотні характеристики, навігацію, маневреність та стійкість.

Ця дипломна робота присвячена проектуванню крила оперативно-тактичного БПЛА з метою вдосконалення його польотних характеристик та ефективності функціонування. Дослідження включає в себе вивчення існуючих безпілотних літальних апаратів та їх крил, аналіз наявних рішень та технологій в цій галузі, а також розробку власних концепцій та рекомендацій для вдосконалення крила БПЛА.

Основні завдання цієї дипломної роботи полягають у вивченні основних аспектів конструкції крила, врахуванні вимог до БПЛА відповідно до його призначення, розробці оптимальної форми та розмірів крила. Результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення проектів БПЛА та покращення їх ефективності.

Ця робота має важливе практичне значення, оскільки результати дослідження можуть бути використані в розробці нових БПЛА та в удосконаленні вже існуючих моделей з метою поліпшення їхньої продуктивності та функціональності. Значущість цієї дипломної роботи полягає в тому, що вона сприятиме розширенню наукових знань у галузі проектування крила БПЛА, а також може бути використана в діяльності авіаційних та аерокосмічних підприємств, які займаються розробкою та виробництвом безпілотних літальних апаратів.

						У даному вступі до дипломної роботи вказано на актуальність теми,	Арк.
							12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зазначено основні завдання дослідження, а також вказано на практичне		

значення отриманих результатів. Це вводить читача у контекст дослідження та робить роботу більш зрозумілою та цікавою. Деталізація дослідження та роботи в цілому будуть подальшим розвитком у наступних розділах.

Об'єкт дослідження – оперативно-тактичний безпілотний літальний апарат(БПЛА), зокрема його крило.

Предметом дослідження – є проектування крила цього типу БПЛА, що включає в себе аеродинамічні аспекти, конструктивні рішення, методи аналізу та оптимізації, а також вимоги до аеродинамічних характеристик, враховуючи особливості оперативно-тактичного застосування БПЛА.

Мета дипломного проекту – детальне вивчення процесу проектування крила оперативно-тактичного безпілотного літального апарату(БПЛА) та розробка оптимальної концепції крила з урахуванням технічних вимог та експлуатаційних обмежень. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- Вивчити існуючі крила БПЛА-аналогів та провести аналіз їх геометричних параметрів та характеристик
- Розробити власну концепцію крила оперативно-тактичного БПЛА.
- Виконати оцінку технічних та експлуатаційних характеристик розробленої концепції крила, включаючи аналіз його аеродинамічних властивостей.
- Зробити висновки щодо розробленої концепції крила.

Для виконання поставлених завдань, дипломну роботу поділено на п'ять розділів:

Перший розділ присвячений огляду БПЛА-аналогів.

У цьому розділі, буде проведений широкий аналіз аналогів, буде наведений їх основні геометричні параметри і льотно-технічні характеристики.

Другий розділ присвячений особливостям крила сучасних БПЛА.

У цьому розділі, буде проаналізовано особливості, які мають крила сучасних безпілотних літальних апаратів, які забезпечують їм маневреність та ефективність у повітрі та при виконанні завдань.

Третій розділ присвячений опису та наведенню параметрів майбутнього крила оперативно-тактичного БПЛА.

У цьому розділі, буде описано процес розроблення концепції крила оперативно-тактичного БПЛА на основі проведеного аналізу літератури. Будуть наведені параметри та схеми крила до БПЛА. Буде обраний аеродинамічний профіль.

Четвертий розділ включає в себе дослідження аеродинамічних характеристик крила.

У цьому розділі, буде проведено аналіз аеродинамічних характеристик крила, ґрунтуючись на даних із попереднього розділу.

Також буде наведена комп'ютерна модель майбутнього крила.

П'ятий розділ включає в себе вибір типу і параметрів механізації крила БПЛА.

У цьому розділі буде описана та обрана механізація крила. Буде обрано вид закрилків, та визначено параметри елеронів. Результати будуть продемонстровано у вигляді рисунків.

		Цей розділ включає в себе вибір конструктивної схеми крила.			Арк.
					13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У цьому розділі буде обрано схему крила, описані її переваги, також проілюстровано на рисунках.

Сьомий розділ присвячено побудові 3д моделі крила.

У цьому розділі буде побудоване крило в 3д просторі за допомогою обраного програмного забезпечення.

				1	ОГЛЯД АНАЛОГІВ	Арк.
Змн.	Арк.	Індекси	Лист	Дата		15

АН-БК-1 “Горлиця” – розроблюваний багатофункціональний безпілотний авіаційний комплекс, призначений для ведення повітряної розвідки вдень та вночі; ураження цілей бортовим озброєнням. Розробляється ДП «Антонов» у кооперації з провідними підприємствами України.[1]



Рис. 1.1 БПЛА АН-БК-1 “Горлиця” на виставці

БПЛА створюється для оснащення перспективного мобільного тактичного безпілотного авіаційного комплексу (ТБПАК), шифр «Горлиця», для потреб Сухопутних військ Збройних сил України. Він складатиметься з чотирьох таких БПЛА, наземної станції керування та засобів забезпечення старту та посадки літальних апаратів, їх транспортування та ремонту.

За технічними характеристиками «Горлиця» здатна виконувати різні

функції, зокрема вести розвідку, забезпечувати бортовим озброєнням, а

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

також вогневе враження супротивника ракетами «повітря-земля». «Горлиця» стане першим вітчизняним безпілотним літальним апаратом, здатним за своєю вантажопідйомністю нести ударне навантаження



Рис. 1.2 БПЛА АН-БК-1 “Горлиця”

«Горлиця» здатна вести оптико-електронну повітряну розвідку видимого та інфрачервоного діапазону. Вона автоматично розпізнає, захоплює та супроводжує рухомі цілі та наводить керовані високоточні боеприпаси. За допомоги БПЛА можна організувати оперативний зв'язок та підтримувати бойові підрозділи, що виконують завдання в тактичній глибині противника.

Призначений для ведення розвідки вдень та вночі за будь-яких погодних умов та передачі отриманої інформації на командний пункт для забезпечення ефективного застосування механізованих (танкових) бригад, дивізіонів ракетних військ та артилерії, а також ескадрилій армійської авіації Сухопутних військ.

Характеристики комплексу БПЛА АН-БК-1 “Горлиця” згідно з презентацією розробника:

Таблиця 1.1

Довжина, м	4.4
Висота, м	1.6
Максимальна злітна маса, кг	200
Тактичний радіус дії, км	150
Тривалість ведення повітряної розвідки, год	не менше 8
Робоча висота ведення розвідки, м	1800-2400
Крейсерська швидкість польоту, км/год	150-180
Дальність польоту, км	до 1050 км
Практична стеля, м	5000
Розмах крил, м	6.7

Можливе бортове обладнання:

- Цифровий фотоапарат;
- Оптико-електронна система повітряної розвідки;
- Обладнання для забезпечення оперативного зв'язку.

Склад комплексу:

- 4 одиниці БПЛА
- 2 одиниці наземної станції управління на базі автомобіля «КрАЗ»;
- наземні технічні засоби забезпечення;
- обслуга комплексу — 22 особи.

		1.2 СПЕКТРАТОР			АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

БпАК-МП-1 «Spectator» — український безпілотний авіаційний комплекс, призначений для розвідки. Розроблений і вироблений ВАТ «Меридіан» імені С. П. Корольова. БпАК складається з наземної станції керування і трьох безпілотних літальних апаратів.[2]



Рис. 1.3 БПЛА Spectator в експозиції заводу "Меридіан"

Літальні апарати компактні та малопомітні. Електрична силова установка літального апарату має низький рівень шуму. Максимальна висота польоту дорівнює 2 км, швидкість — до 120 км/год, а тривалість безперервного польоту — до 2 годин.

Безпілотник не потребує спеціальних вимог до стартового майданчика та додаткових пристроїв для зльоту — він може стартувати навіть з руки. Пристрій можна додатково оснастити камерою денного/нічного бачення із 10-кратним збільшенням, тепловізійною і мультиспектральною камерами, фотокамерою високої роздільної здатності, датчиком радіаційного фону та іншим обладнанням.

«Spectator» здатні розвідувати та проводити моніторинг водних і лісових масивів, нафто- і газопроводи, державний кордон, здійснювати аерофотозйомку та бути задіяними у пошуково-рятувальних операціях.



Рис. 1.4 БПЛА Spectator

Наземна станція БПАК забезпечує прийом і передачу сигналів на безпілотник на відстані до 30 км. Командно-телеметричний канал передає інформацію про положення, параметри польоту і координати цілей, а також забезпечує програмування системи автоматичного керування БПЛА. Канал радіо-керування контролює БПЛА при придушенні системи супутникової навігації та керування цільовим навантаженням. Канал передачі відеосигналу передає зображення з цільового навантаження на наземну станцію керування.

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ				

Характеристики комплексу БПЛА Spectator згідно з презентацією розробника:

Таблиця 1.2

Довжина, м	1.3
Максимальна злітна маса, кг	5.5
Тактичний радіус дії, км	20-30
Тривалість польоту, год	2
Максимальна висота польоту, м	2000
Крейсерська швидкість польоту, км/год	180-200
Дальність польоту, км	200
Практична стеля, м	3000
Розмах крил, м	3



Рис. 1.5 БПЛА Spectator на виставці

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ				

1.3 IAI SEARCHER

IAI Searcher — сімейство тактичних розвідувальних безпілотних авіаційних комплексів, розроблених ізраїльським концерном Israel Aerospace Industries. Основним завданням БПЛА є ведення повітряної розвідки, в тому числі в зоні бойових дій; також може використовуватися для вказання цілей, наведення і коректування вогню артилерії.[3]



Рис. 1.6 БПЛА IAI «Searcher II»

Перша модель апарату "Searcher" була представлена публіці на виставці Asian Aerospace у 1990 році. Прийнятий на озброєння Армією оборони Ізраїлю в 1992 році, всього було закуплено близько 200 апаратів. Експортувався до низки країн.

«Searcher Mk II» був уперше представлений публіці на виставці Singapore Air Show у лютому 1998 року та прийнятий на озброєння в Ізраїлі у червні 1998 року.

Пізніше було розроблено «Searcher Mk III»

										Арк.
										21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ					

Спочатку на IAI Searcher встановлювався поршневий двигун Сач потужністю 35 к.с. з дволопатеvim штовхаючим гвинтом, але потім він був замінений на більш потужний — Лімбах L 550 з трилопатеvim штовхаючим гвинтом.

Характеристики комплексу БПЛА IAI Searcher згідно з презентацією розробника:

Таблиця 1.3

Довжина, м	5.15
Висота, м	1.16
Максимальна злітна маса, кг	372
Тактичний радіус дії, км	220
Тривалість польоту, год	12-14
Крейсерська швидкість польоту, км/год	194
Практична стеля, м	4575
Розмах крил, м	7.22



Рис. 1.7 БПЛА IAI «Searcher I»

1.4 Таблиці основних характеристик БПЛА

Таблиця 1.4

Назва	Довжина, м	Максимальна злітна маса, кг	Тактичний радіус дії, км	Тривалість польоту, год	Крейсерська швидкість, км/год	Дальність польоту, км	Розмах крила, м	Площа крила, м ²	Практична стеля, м
Горлиця	4.4	200	150	~8	150-180	До 1050	6.7	0.97	5000
Spectator	1.3	5.5	20-30	2	180-200	200	3	0.43	3000
Searcher I	5.15	372	220	12-14	194	220	7.22	1.05	4575

Висновки по розділу:

У даному розділі було розглянуто три безпілотні літальні апарати, а саме БпАК-МП-1 «Spectator», АН-БК-1 “Горлиця”, БПЛА ІАІ «Searcher I». Вони вирізняються своїми характеристиками та можливостями, але є деякі загальні риси, які дозволяють віднести їх до однієї категорії. Зокрема, це можливість виконання різноманітних завдань, в тому числі інтелектуальних, а також відносно великий дальній діапазон зв'язку та управління.

Також було коротко описано технічні характеристики і побудовано порівняльні таблиці.

					АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ				Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2 ОСОБЛИВОСТІ КРИЛА СУЧАСНИХ БПЛА

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) є популярними у багатьох галузях, включаючи зйомку з повітря, дослідження, моніторинг навколишнього середовища, дослідження далеких об'єктів та багато іншого. У цьому контексті крило грає важливу роль у забезпеченні стабільності та ефективності БПЛА.

Сучасні крила БПЛА мають деякі специфічні особливості, які забезпечують їх ефективність та маневреність:

Розмах крила: Сучасні БПЛА мають різні розмахи крила, від кількох сантиметрів до кількох метрів. Розмах крила впливає на стійкість та маневреність БПЛА, і визначається завданнями, які він має виконувати.



Рис. 2.1 БПЛА Spectator M-1

Профіль крила: Профіль крила БПЛА також відрізняється в залежності від завдання, для якого він призначений. Для висотних розвідувальних БПЛА використовуються профілі крила з більшим підйомом, щоб забезпечити плавний політ. Для швидких та маневрених БПЛА використовують профілі крила з меншим підйомом.

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рухомі кінцівки: Деякі БПЛА мають рухомі кінцівки, які забезпечують додаткову стійкість та маневреність. Ці кінцівки можуть згинатися або повертатися, що дозволяє БПЛА легше маневрувати у повітрі та забезпечує більш точні маневри.

Композитні матеріали: Більшість сучасних БПЛА виготовляються з композитних матеріалів, що дозволяє забезпечити більшу міцність та стійкість крила при мінімальній вазі. Це дозволяє БПЛА максимально ефективно використовувати енергію батарей та максимально тривалий час перебувати в повітрі. Сучасні БПЛА можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як вуглецеві волокна, кевлар, титан та алюміній. Вибір матеріалу залежить від потреби в міцності, легкості та ефективності використання енергії.



Рис. 1.2 БПЛА SHARK

Автоматичне управління крилом: Багато БПЛА мають системи автоматичного управління крилом, які дозволяють автоматично коригувати положення крила для забезпечення оптимальної стійкості та ефективності в різних погодних умовах.

Ефект кільцевої вихорів: Крила БПЛА також повинні бути розраховані з урахуванням ефекту кільцевої вихорів, який виникає на кінцях крила під час польоту.

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей ефект може призводити до втрати контролю над БПЛА та погіршення його маневреності.

Розмаїтість форм та конструкцій: Крила БПЛА можуть мати різну форму та конструкцію, залежно від призначення та характеристик БПЛА. Наприклад, деякі БПЛА мають крила зі згином наверх, що дозволяє їм літати на високій швидкості та зберігати стійкість при цьому. Інші БПЛА можуть мати крила зі згином вниз, що дозволяє їм довше перебувати в повітрі, зменшуючи споживання енергії.

Розмір та форма крила БПЛА залежать від призначення та завдання, яке він повинен виконувати. Наприклад, для довготривалого нагляду потрібні крила з великою площею, щоб забезпечити достатній ліфт та тривалий політ, тоді як для БПЛА для пошуку та рятування можуть використовуватися крила з вузьким профілем та великою маневреністю

Системи диференційованого керування: Деякі сучасні БПЛА мають системи диференційованого керування крилами, що дозволяють їм рухатись в різних напрямках та виконувати складні маневри. Це особливо важливо для БПЛА, призначених для використання у військових діях або для дослідницьких цілей.

Узагалі, крила сучасних БПЛА розробляються з урахуванням багатьох факторів, включаючи завдання, для якого вони призначені, погодні умови, маневреність та ефективність. Це дозволяє БПЛА ефективно виконувати свої функції та забезпечувати точність та стійкість у повітрі.

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до розділу:

Зважаючи на широке застосування БПЛА в різних сферах, крила цих апаратів стали одним з найважливіших компонентів, які дозволяють забезпечити їх високу маневреність, ефективність та економічність.

Сучасні крила БПЛА мають різні форми, конструкції, розміри та матеріали, які використовуються для їх виготовлення, залежно від конкретних потреб та завдань, які повинні виконуватися. Багато БПЛА також оснащені диференційованими системами керування, які дозволяють рухатися в різних напрямках та виконувати складні маневри. Оскільки технології продовжують розвиватися, можна очікувати, що крила БПЛА також будуть постійно еволюціонувати, забезпечуючи ще більшу ефективність та функціональність.

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ КРИЛА

3.1 КРИЛО. ПРИЗНАЧЕННЯ КРИЛА

Призначення крила. Крило – несуча поверхня літака, призначена для створення аеродинамічної підйомної сили, необхідної для забезпечення польоту та маневрів на усіх режимах. Крило забезпечує керованість та поперечну стійкість літака та використовується для кріплення шасі та озброєння.

3.1.2 Параметри зовнішньої форми крила.

- Крило має форму трапеції і характеризується наступними параметрами:
- Площа крила - це проекція крила на його базову площину.
- Розмах крила - відстань між двома площинами, паралельними базовій площині літака та крила.
- Місцева хорда крила - це відрізок прямої лінії, яка з'єднує точки перетину передньої та задньої кромки крила площиною, що містить профіль крила.
- Видовження крила - це відношення квадрату розмаху крила до його площі.
- Звуження крила - це відношення довжини центральної хорди крила до довжини кінцевої хорди.
- Місцевий кут стріловидності крила по передній кромці - це кут між передньою кромкою крила та лінією, що проходить на відстані n відсотків хорди від його початку (при $n=0$).
- Кут встановлення крила - це кут між центральною хордою крила та базовою віссю літака.
- Кут поперечного V крила - це кут між проекцією на площину, перпендикулярну лінії центральної хорди крила, дотичної до лінії $1/4$ хорд в даній точці, та базовою площиною крила.

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1

Площа крила, м ²	1,72
Розмах, м	5
Коренева хорда, м	0,400
Хорда кінцева, м	0,290
Видовження	14,49
Звуження	1,38
Кут стріловидності по передній кромці, град	-0,63
Кут встановлення, град	1,5
Кут поперечного V, град	1,5

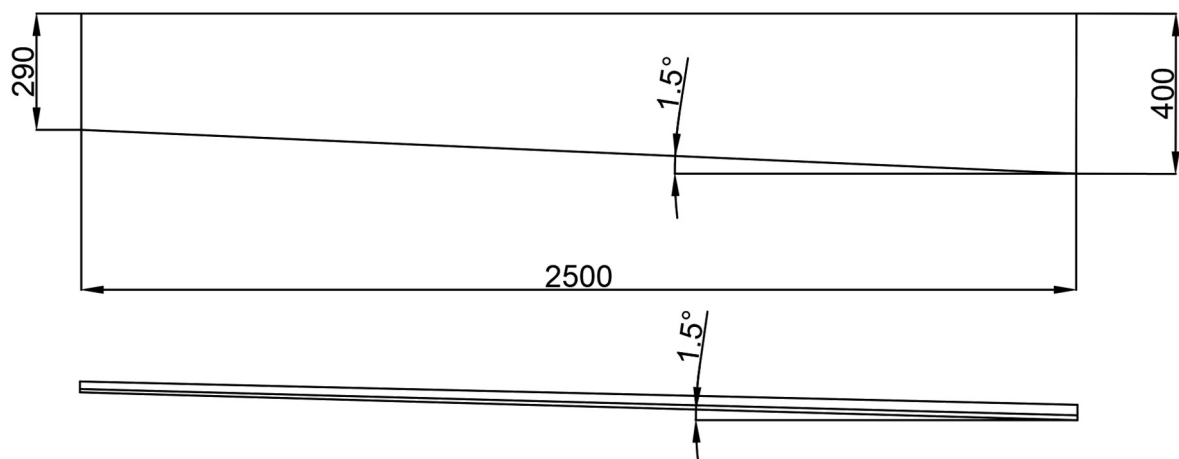


Рис 3.1.1 Схема крила БПЛА, що проектується

3.1.3 Профіль крила. Профіль крила - це форма поперечного перерізу крила, що забезпечує відповідні аеродинамічні характеристики залежно від призначення.[4]

Важливі характеристики профілю крила:

- Передня кромка - точки на передньому краї крила, де профіль має максимальний вигин.

					Арк.
					29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- Задня кромка - точки максимальної кривини в задній частині крила.
- Середня лінія вигину або середня лінія - геометричний центр поперечного перерізу крила, який знаходиться рівновіддаленим від найближчих точок верхньої і нижньої поверхонь крила. Форма середньої лінії залежить від товщини крила та кривини поверхонь крила вздовж хорди.
- Товщина профілю - відстань між верхньою та нижньою поверхнею крила вздовж хорди.

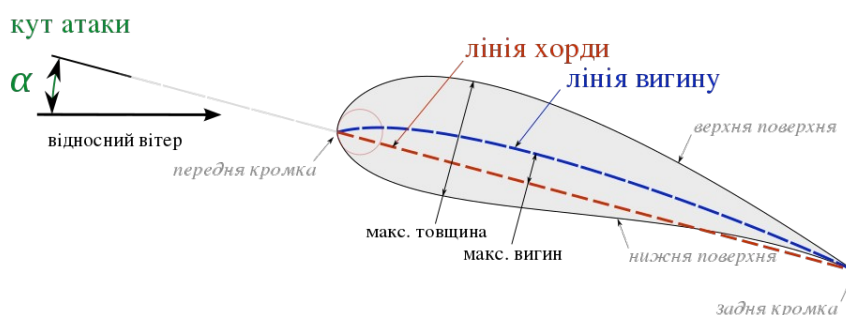


Рис 3.1.2 Термінологія аеродинамічного профілю крила

Починаю підбір аеродинамічного профілю. За даними з технічного завдання(ТЗ), з умови максимальної висоти, максимальної аеродинамічної досконалості(якості) при горизонтальному польоті шукаю коефіцієнт підйомної сили:

$$m_0 g = C_{yV_{max}} \frac{\rho V_{max}^3}{2} S \quad (3.1)$$

$$C_{yV_{max}} = \frac{2 m_0 g}{S \rho V_{max}^3} \quad (3.2)$$

Де,

$m_0=200$ кг – максимальна злітна маса;

$C_{yV_{max}}$ – коефіцієнт підйомної сили;

$g=9.8$ м/с² – прискорення вільного падіння на висоті 5 км;

					Арк.
					30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$\rho = 0.736 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря на висоті 5 км;

$V_{\max} = 190 \text{ км/год}$ – максимальна швидкість польоту;

$S = 1.72 \text{ м}^2$ – площа крила.

Розрахунки було виконано у програмі xflr5 v6.. XFLR5 – це програма для аеродинамічного аналізу та проектування профілів крила. XFLR5 дозволяє моделювати профілі крила, визначати їхні аеродинамічні властивості, такі як підйомна сила, опір, моменти, струмінь повітря. XFLR5 також надає інструменти для оптимізації профілів крила, дозволяючи користувачам проводити дослідження і підбір профілів з метою поліпшення аеродинамічних характеристик, таких як підйомна сила-опір.

За допомогою програми Xfoil, яка входить в Xflr5, аналізую аеродинамічний профіль. Xfoil – це програма, яка використовує лінійно-вихровий панельний метод для аналізу та проектування аеродинамічних профілів. На рис. 3.1.3 подано графіки залежності коефіцієнтів підйомної сили C_y від кута атаки α C_y та поляри $C_y(C_x)$ для аеродинамічного профілю NASA 1409.

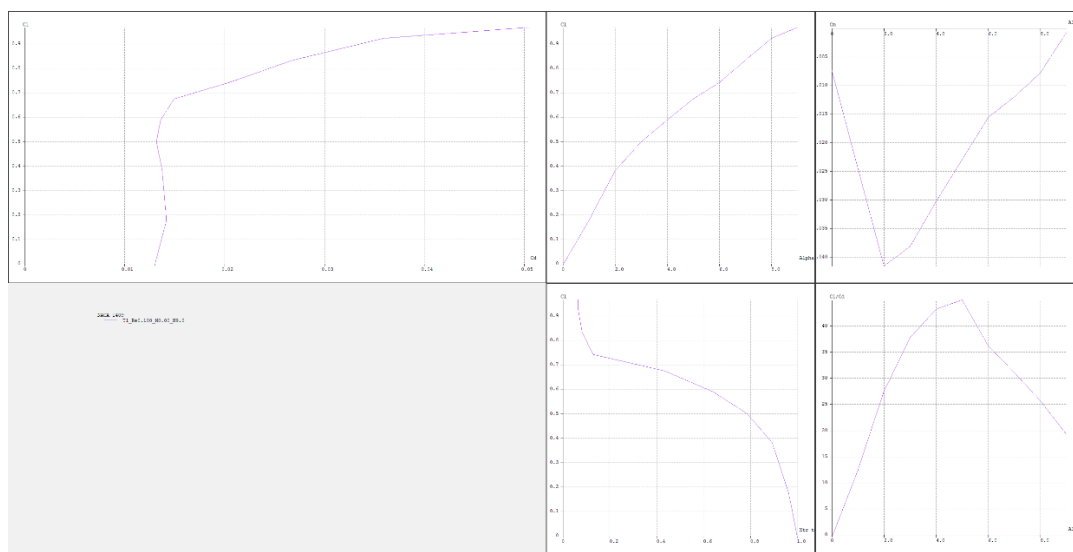


Рис. 3.1.3 Аеродинамічні характеристики профілю, отримані за допомогою програми Xfoil.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Число Рейнольдса $Re=300.000$.

Для додаткового аналізу, розраховую ще одну поляру обраного аеродинамічного профілю на іншому числі Маха(рис. 3.1.4).

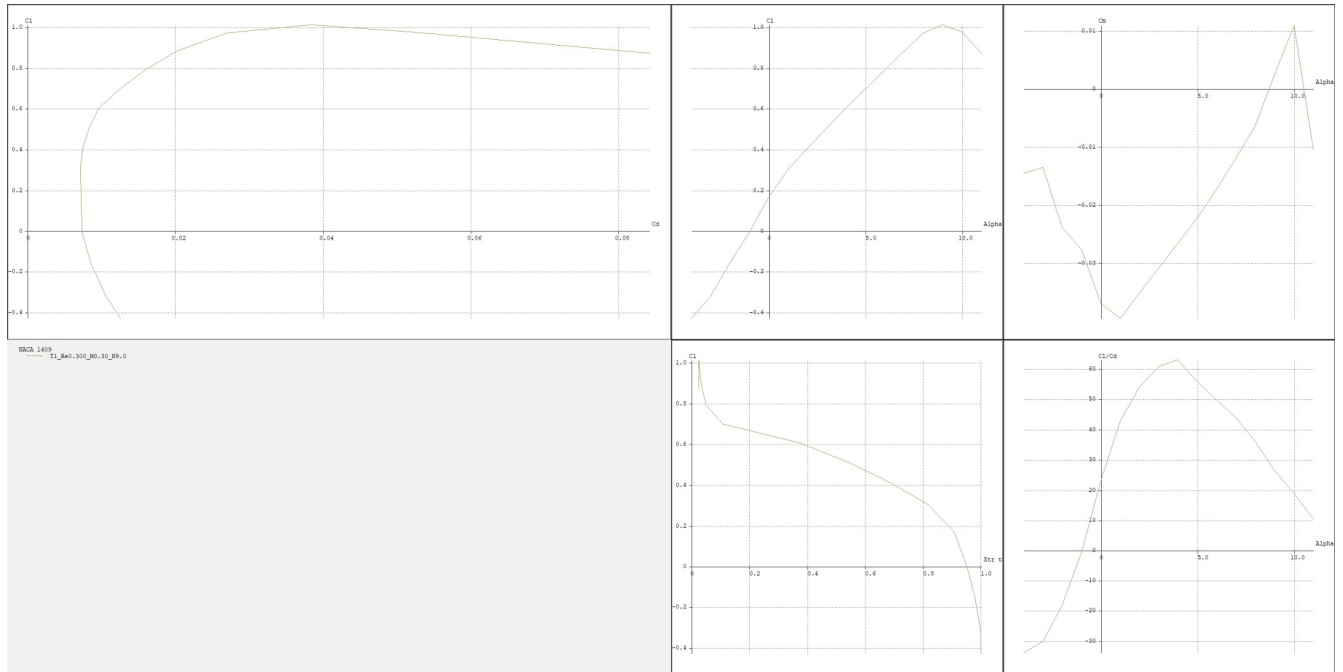


Рис. 3.1.4 Аеродинамічні характеристики профілю із іншим числом Маха.

Число Рейнольдса $Re=100.000$. Число Маха $M=0.2$.

Як можна бачити на побудованих графіках, поляра майже не відрізняється від минулої. Якщо в програмі виставити число Маха $M=0.3$, та більше, вже можна буде бачити відмінності.

Обираю інший профіль, NASA 2209. У даного профіля максимальна товщина становить 9% від хорди профілю, що є гарним для забезпечення максимальної якості. Внутрішня форма профілю розроблена таким чином, щоб забезпечити сприятливі аеродинамічні характеристики для використання в певних умовах польоту. Координати аеродинамічного профілю вказані в Додатку 1.

Число Рейнольдса $Re=350.000$. Число Маха $M=0.3$.

									Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

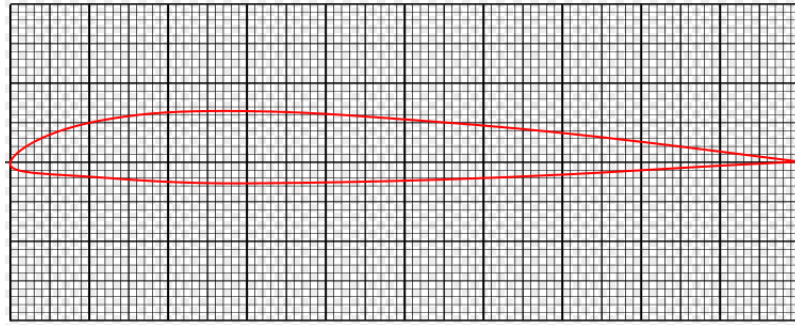


Рис 3.1.5 Геометрія профіля крила NASA 2209

Таблиця 3.2 Аеродинамічні характеристики профілю NASA 2209[5]

α	C_y	C_x	C_m	C_{pmin}	X_{cp}
0	0.231	0.036	6	0.231	0.036
5	0.665	0.198	3	0.664	0.198
10	0.984	0.429	2	0.982	0.428
15	1.128	0.617	1	1.126	0.616
20	0.912	0.57	1	0.911	0.569
-5	-0.0312	0.052	0	-0.311	-0.052
-10	-0.724	0.247	-2	-0.723	0.247
-15	-0.938	0.458	-2	-0.936	0.457
-20	-0.878	0.403	-1	-0.786	0.402

Поляра – це графічна залежність між коефіцієнтом підйомної сили і коефіцієнтом лобового опору для даного аеродинамічного профілю при різних кутах атаки. Кожна точка на полярі відповідає певному куту атаки, який зазвичай позначається на графіку як параметр. Поляра є важливою характеристикою аеродинамічного профілю, оскільки вона дає інформацію про ефективність профілю при різних кутах атаки і допомагає визначити оптимальний кут атаки для отримання максимальної підйомної сили або мінімального лобового опору.[6]

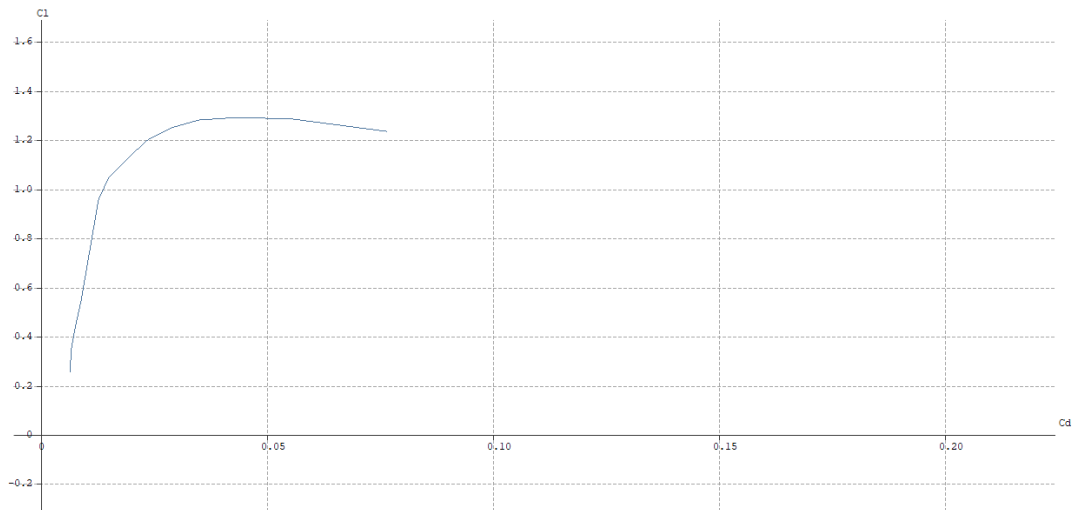


Рис 3.1.5 Графік поляри профіля NASA 2209

Графік називають полярою, оскільки розглядають його в полярних координатах.

На графіку показано залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки. При збільшенні кута атаки коефіцієнт підйомної сили збільшується майже пропорційно. При цьому зміна тиску на верхній та нижній поверхнях профілю також збільшується.

На верхній поверхні профілю тиск зменшується, що призводить до збільшення розрядження, а на нижній поверхні тиск збільшується незначно. Коли кут атаки дорівнює нулю, коефіцієнт підйомної сили також дорівнює нулю, і зміна тиску на поверхнях профілю є мінімальною.

					<i>АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

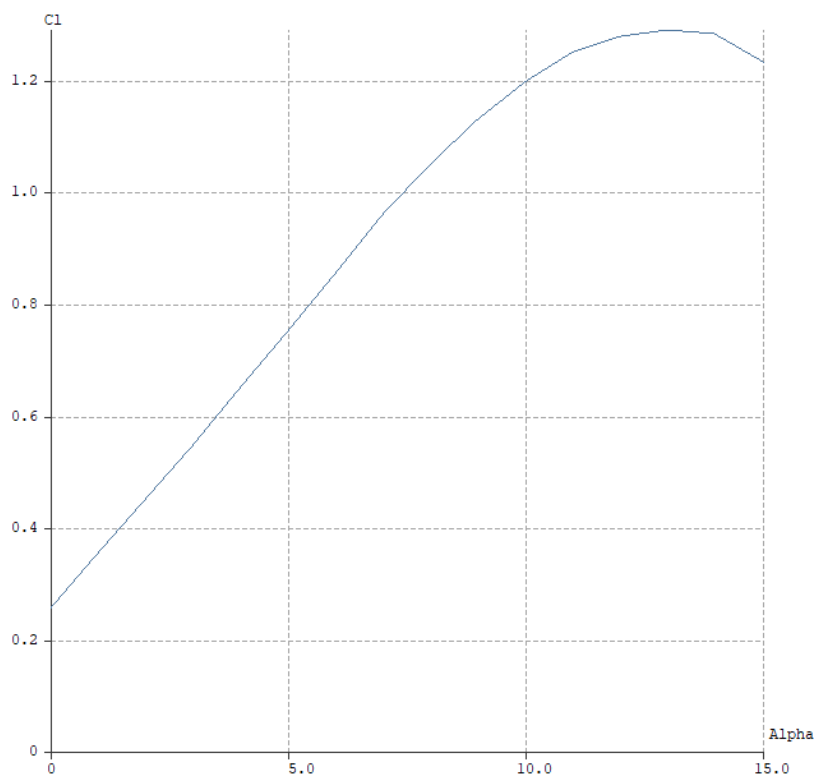


Рис. 3.1.6 Графік $(C_y; \alpha)$ профілю NACA 2209

Лобовий опір крила складається з двох компонентів: тertia повітря об поверхню крила та динамічного опору, і разом вони утворюють профільний опір.

При збільшенні кута атаки підйомна сила крила зростає майже пропорційно, але на нижній поверхні профілю зростає не сильно, тоді як розрядження на верхній поверхні зростає значно. Лобовий опір при цьому теж зростає, спочатку повільно, потім швидше.

Різницю між лобовим опором при наявності підйомної сили і профільним опором називають індуктивним опором. Він у широких межах пропорційний квадрату коефіцієнта підйомної сили (C_y). Якщо обтікання зривається, лобовий опір збільшується значно, і він не зменшується з подальшим зростанням кута атаки.

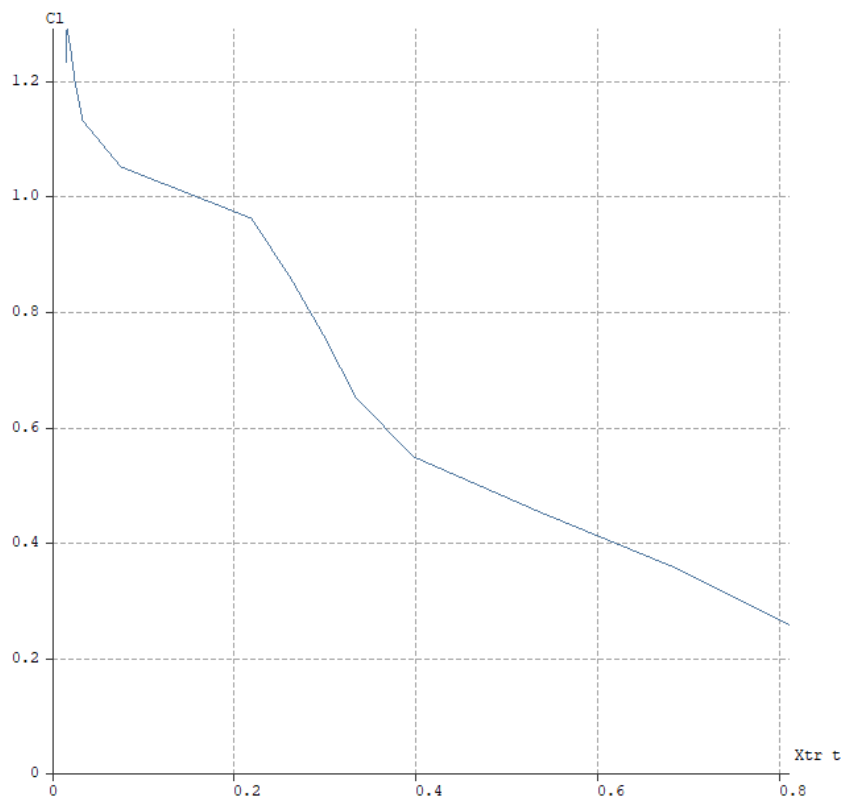


Рис. 3.1.7 Графік $(C_x; \alpha)$ профіля NASA 2209

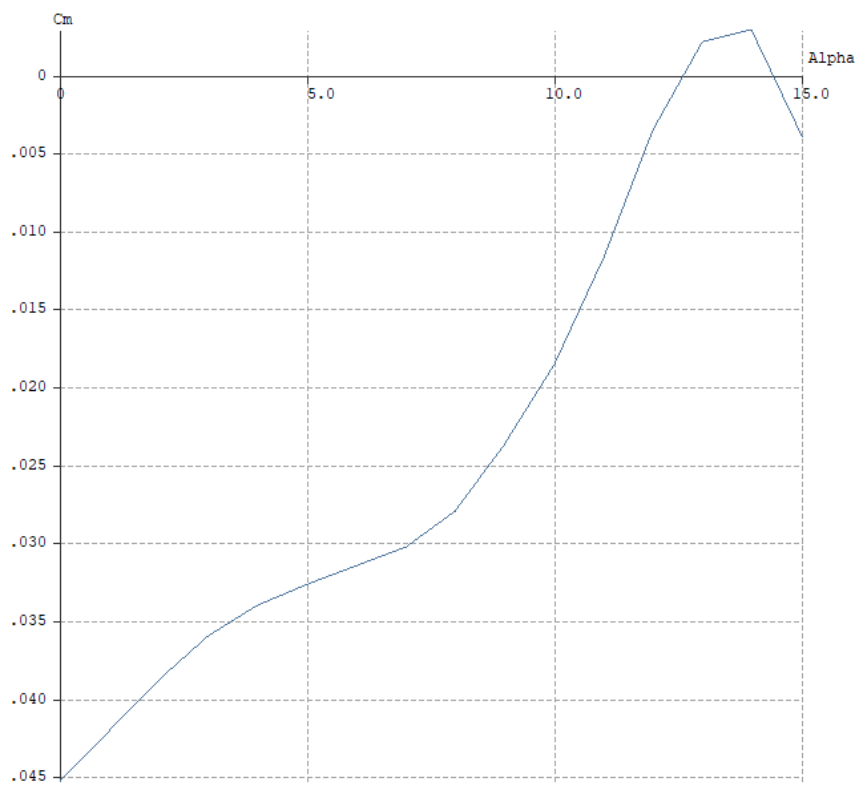


Рис. 3.1.8 Графік $(C_m; \alpha)$ профіля NASA 2209

Висновок до розділу:

Після дослідження було вирішено обрати за аеродинамічний профіль, профіль НАСА 2209, також у даному розділі була описана конструкція, обрані параметри, зроблена схема майбутнього крила, також було висвітлено поляри аеродинамічного профілю у вигляді графіків.

								Арк.
								37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

4 АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИЛА

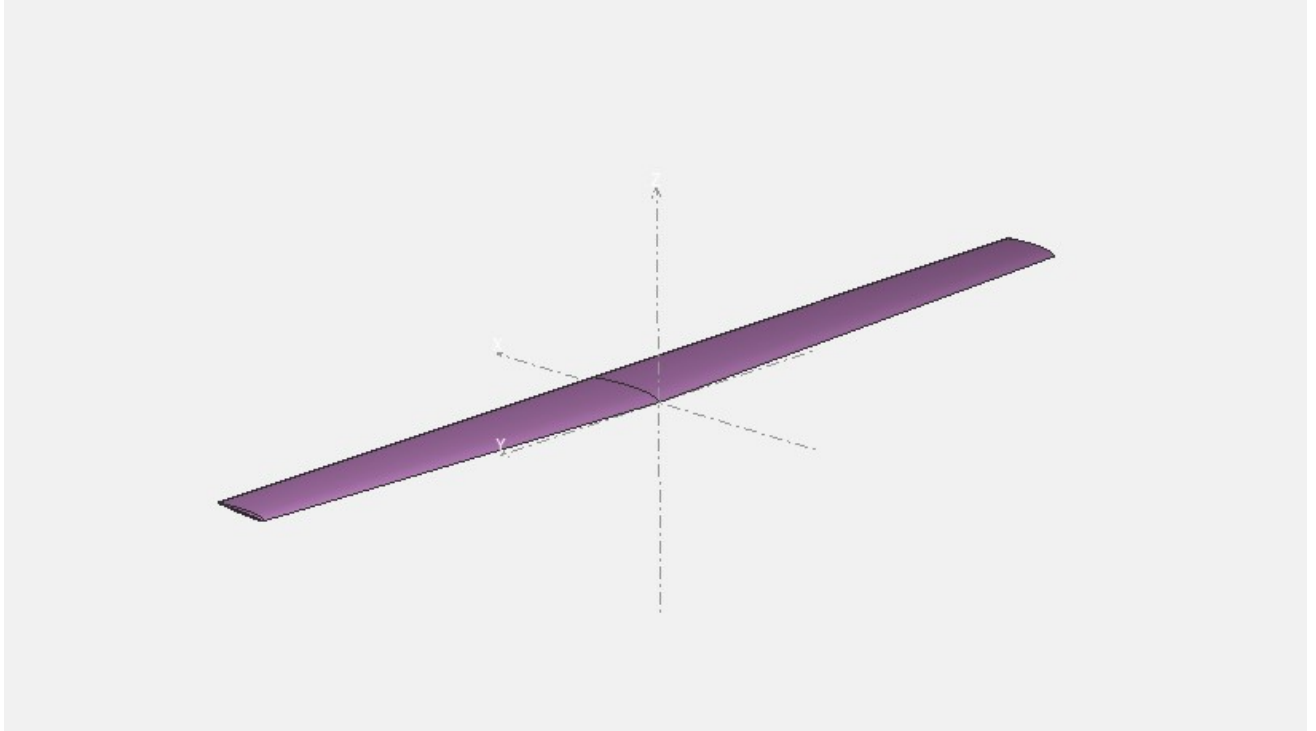


Рис. 3.2.1 Модель крила для БПЛА

Нижче представлені розрахунки аеродинамічних характеристик крила у вигляді рисунків.

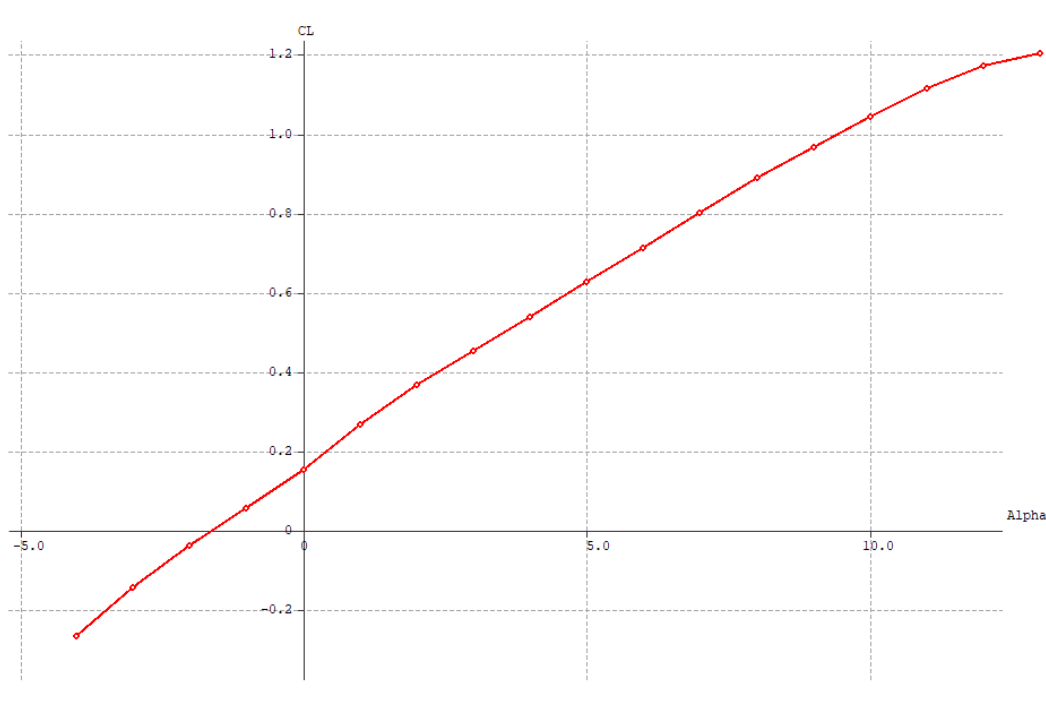


Рис. 3.2.2 Графік ($C_y; \alpha$)

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	38

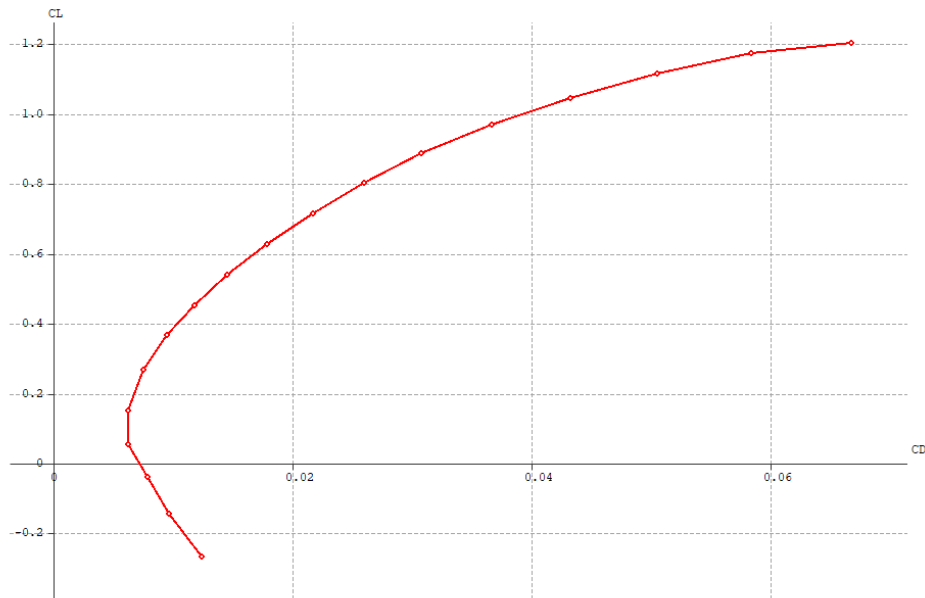


Рис. 3.2.3 Графік ($C_y; C_x$)

Аеродинамічна якість — відношення підйімальної сили до аеродинамічного опору, один з основних аеродинамічних параметрів літального апарата. Покращення аеродинамічної якості є однією з основних задач аеродинаміки. На практиці величину обчислюють для певного діапазону швидкостей, а отримані дані представляють у вигляді графіка. [7]

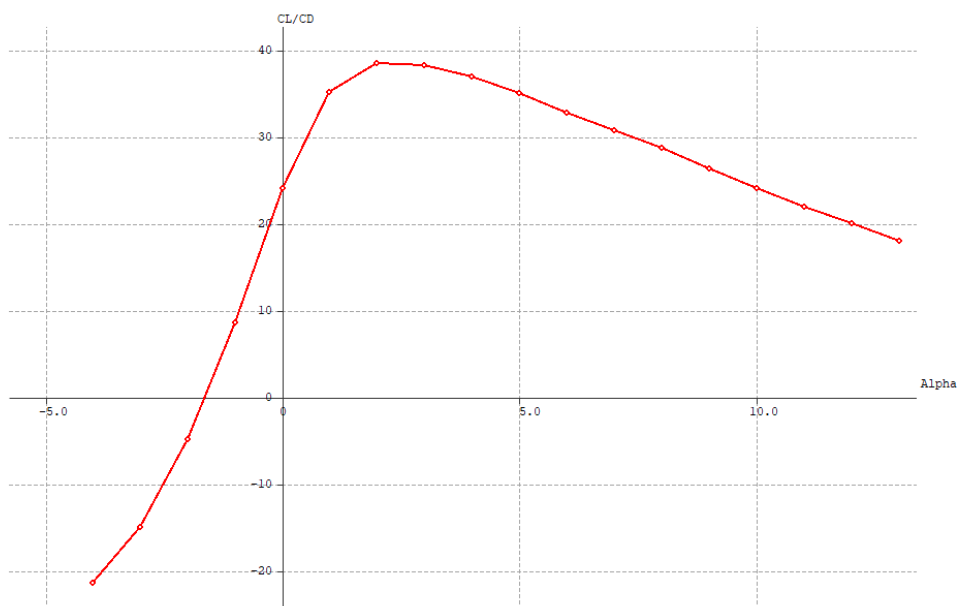


Рис. 3.2.4 Графік ($K; \alpha$)

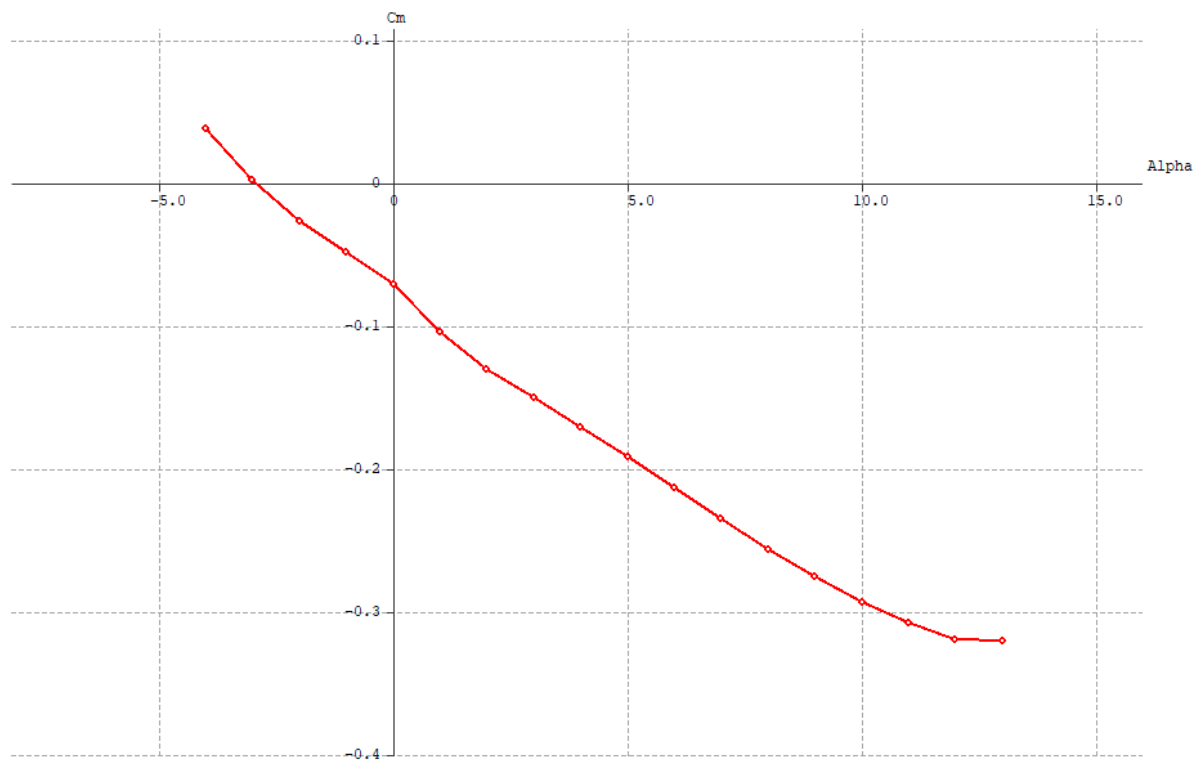


Рис. 3.2.5 Графік $(C_m; \alpha)$

Висновок до розділу:

У даному розділі були надані графіки поляри БПЛА, що включають $(C_y; C_x)$, $(C_x; \alpha)$, $(K; \alpha)$ та $(C_y; \alpha)$, які допомагають зрозуміти аеродинамічні властивості крила БПЛА.

Ці графіки є важливим інструментом для аналізу аеродинамічних характеристик крила безпілотних літальних апаратів. Графіки поляр показують залежність коефіцієнтів лобового опору, підйомної сили та моменту профілю крила від кута атаки. За допомогою цих графіків можна зрозуміти, як змінюються аеродинамічні властивості крила при зміні кута атаки, а також знайти оптимальний кут атаки для максимальної підйомної сили або мінімального лобового опору.

5 ВИБІР ТИПУ ТА ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА

Механізація крила — сукупність пристроїв у передній або задній частині крила, для зміни його аеродинамічних характеристик. Робота всіх елементів механізації крила, ґрунтується на керуванні прикордонним шаром на поверхні крила й зміні кривини профілю.[8]

Основні механізми крила включають в себе:

Елерони — аеродинамічні органи управління, симетрично розташовані на задніх кромках консолей крила. Це складова механізації крила літака, яка відхиляється вгору і вниз і призначена для керування літаком щодо його поздовжньої осі. Елерон при відхиленні створює різницю піднімальної сил правої і лівої половини крила. Робота елерона забезпечує поперечну стійкість і дозволяє здійснювати польоти за кривим. За конструкцією, і аеродинамічною формою елерон подібний до крила.[9]

Руль напрямку — це орган керування літака, розташований в хвостовому оперенні та призначений для керування літаком щодо нормальної осі. Являє собою рухому вертикальну площину, що кріпиться до кіля. [10]

Крім цього, існують інші механізми крила, які використовуються для досягнення спеціальних цілей, таких як спойлери та автоматичні збільшувачі підйомної сили.

Механізація крила зазвичай поділяється за своїм призначенням та конструкцією на кілька видів, зокрема, на закрилки, передкрилки та спойлери (інтерцептори).

Передкрилки — це відхиляюча поверхня, встановлена на передній кромці крила. При відхиленні утворюють щілину, аналогічну щілинні закрилків. Передкрилки, що не утворюють щілини, називаються відхиляючими носками. Як правило, передкрилки автоматично відхиляються одночасно з закрилками, але можуть управлятися і незалежно одні від інших. [11]

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці механізми можуть бути використані для підвищення ефективності старту та посадки, а також для поліпшення характеристик керованості та маневреності під час польоту.

Закрилки — це відхилювальні поверхні, симетрично розташовані на задній крайці крила. Закрилки в прибраному стані є продовженням поверхні крила, тоді як у випущеному можуть відходити від нього з утворенням щілин. Використовуються для поліпшення несеної здатності крила під час зльоту, набору висоти, зниження і посадки, а також при польоті на малих швидкостях.[12]

Закрилки можуть бути різних типів. Наприклад, висувні закрилки виходять з-під крила, збільшуючи площу крила. Роздільні закрилки складаються з двох частин, які можуть рухатися незалежно одна від одної. Загальний тип закрилок залежить від потреб кожного конкретного типу літака.

Закрилки зазвичай використовуються для зменшення швидкості при посадці та підвищення маневреності в повітрі. Вони можуть також використовуватися для зміни кута атаки під час польоту та зміни траєкторії польоту.

Спойлери — це пластини, розташована на поверхні крила літака яка висувається чи відхиляється назовні для того щоб зірвати потік повітря. Це збільшує аеродинамічний опір і зменшує підйомну силу. Тому інтерцептори також називають органами безпосереднього управління підйомної силою. [13]

Спойлери використовуються для зменшення підйому крила під час зменшення швидкості, зменшення швидкості зниження та приземлення, а також для контролю за спуском на землю під час посадки. Вони можуть використовуватись як окремо, так і в комбінації з іншими механізаціями крила, такими як передкрилки та закрилки.

Окрім використання на пасажирських та військових літаках, спойлери також широко використовуються на безпілотних літальних

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратах, де вони дозволяють здійснювати точну посадку та зупинку апарата на встановленій позиції.

Вінглети – це додаткові елементи на кінцях крил літака у вигляді крилець або плоских шайб. Вінглети крила слугують для збільшення ефективного розмаху крила, знижуючи індуктивний опір від вихору, який бере початок у кінці стрілоподібного крила, і, як наслідок, збільшення підйомної сили на кінці крила. [14]

Вони працюють як додаткові крила, що знижують вертикальну вихровість, що у свою чергу зменшує турбулентність та сприяє підвищенню опору повітря.

Основними перевагами вінглетів є зниження опору повітря та підвищення ефективності крила. Зниження опору повітря приводить до зменшення споживання палива та викидів в атмосферу. Вінглети також дозволяють збільшувати розмах крила без збільшення маси крила, що може бути корисним для збільшення дальності польоту і навантаження, що може бути перевезено на борту літака.

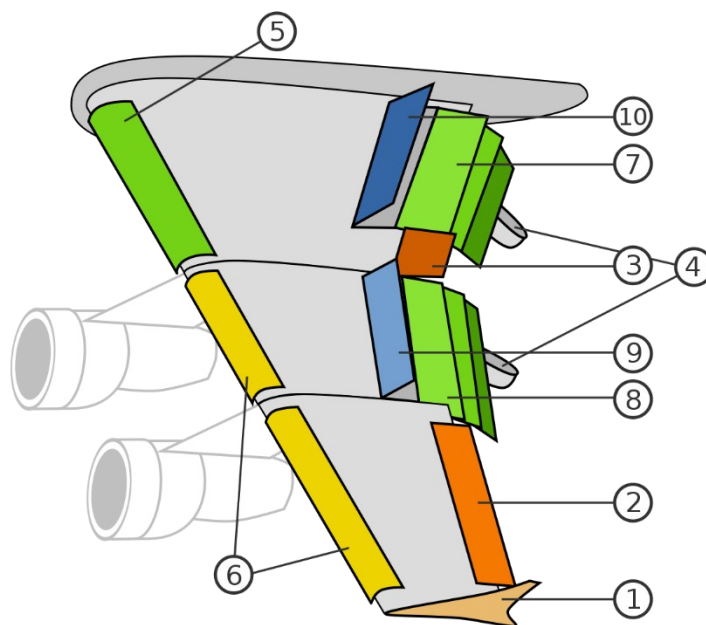


Рис. 4.1 Механізація крила

- 1-вінглет;
- 2-елерон;
- 3-флаперон;
- 4-балки закрилок;
- 5-предкрилок Крюгера;
- 6-предкрилки;
- 7,8-закрилки;
- 9-інтерцептор;
- 10-спойлер.

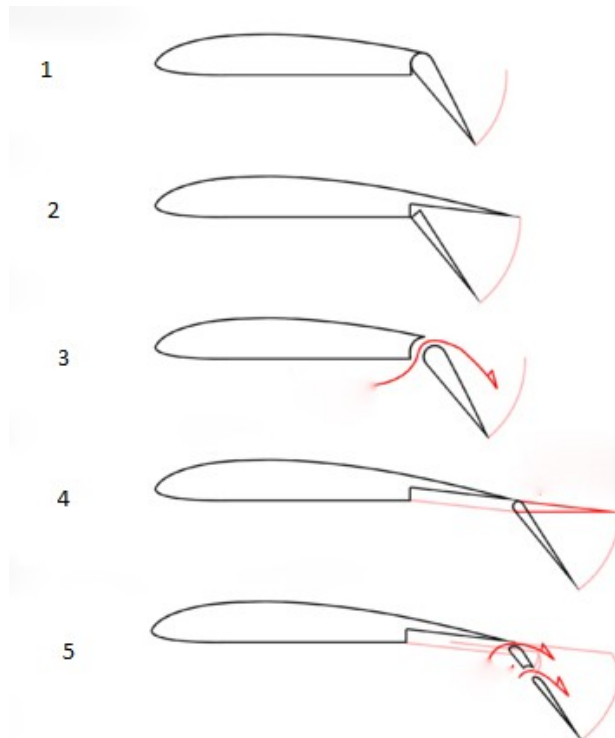


Рис. 4.2 Види закрилків та щитків

- 1-закрилок;
- 2-щиток;
- 3-щелевий закрилок;
- 4-закрилок Фаулера;
- 5-двущелевий закрилок Фаулера.

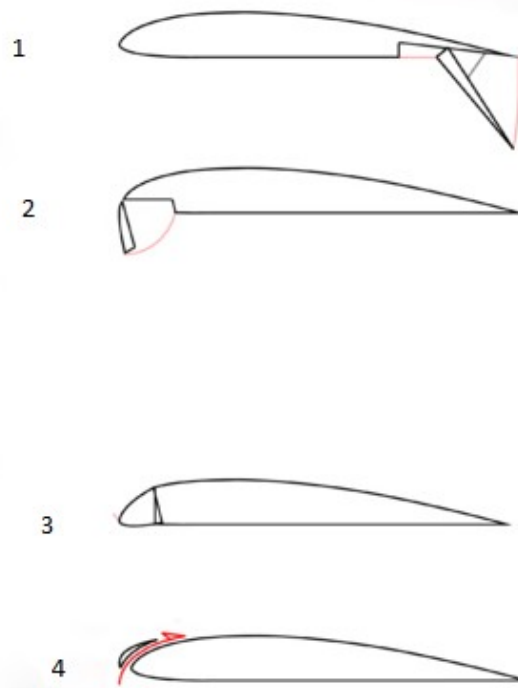


Рис. 4.3 Види передкрилків та щитків

1-висувний щиток;

2-передкрилок Крюгера;

3-відхиляємий носок;

4-передкрилок(щелевий).

5.1 ВИБІР ПРАМЕТРІВ ЗАКРИЛКІВ

Так як мною було обрано профіль НАСА 2209, для нього є ефективним для використання закрилок Фаулера. Цей тип закрилків дозволяє збільшити площу крила та створити додаткову підйомну силу, що поліпшує аеродинамічні характеристики крила та забезпечує кращу маневреність і підйомність під час злету та посадки. Використовувати передкрилок є недоцільним, через його конструкцію, яка має велику масу.






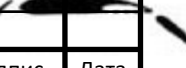
Закрилок Фаулера був винайдений в 1920 Харланом Деві Фаулером, інженером, який був тоді на службі в армії США. Специфіка цього пристрою полягала в тому, що закрилок висувався з крила, створюючи таким чином приріст підйомної сили не тільки за рахунок збільшення кривизни профілю, але і за рахунок збільшення площі крила. В результаті

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поліпшення несучих властивостей C_u крила виявлялося помітно більше, ніж при застосуванні інших видів посадкової механізації.

Харлан Фаулер, американський інженер і винахідник, дійшов остаточного варіанта висувного закрилка в 1924 р. У 1927-1929 р. він за власний кошт випробував свій винахід на літаках. Було встановлено, що висувний закрилок з відносною хордою та розмахом відповідно 40 % та 60 % збільшує площу крила на 22 % та забезпечує $C_u \text{ макс} = 2,82$. Однак через відсутність великої потреби у збільшенні C_u ніс у ті роки та складності закрилків Фаулера в порівнянні з іншими типами посадкової механізації ці експерименти не викликали особливого інтересу. Тільки через кілька років, коли аеродинамічні продування і льотні випробування підтвердили, що закрилки Фаулера є найбільш ефективним засобом збільшення підйомної сили і, коли було встановлено, що при невеликих кутах відхилення вони мають малий опір і, отже, можуть використовуватися не тільки при посадці, але і при зльоті цей вид механізації крила знайшов застосування в літакобудуванні.[15]

Таблиця 4.1

Тип механізації	Схема	Кут відхилення, град	C_u макс	K_{C_u} макс	Приріст C_u , %
Немеханізоване крило		1.29	7.6		
З простим закрилком		45	1.95	4.0	51
З щелевим закрилком		45	1.98	4.0	53
З простим щитком		50	2.16	4.3	70
З закрилком Фаулера		40	2.44	4.25	90
		40	2.49	3.76	96

закрилком Фаулера					
----------------------	--	--	--	--	--

Принцип роботи закрилка Фаулера:

1. При активації закрилка Фаулер починає рухатися вперед і вниз від крила по напрямних рейках.
2. Це збільшує площу крила та змінює його форму, створюючи більше підйомної сили.
3. Закрилки Фаулера також збільшують кривизну верхньої поверхні крила, що сприяє утворенню вихорів та збільшення підйомної сили на низьких швидкостях.
4. Після зльоту або посадки закрилки Фаулера повертаються у вихідне положення, зменшуючи опір повітря та дозволяючи літаку літати на більш високих швидкостях.

Закрилок Фаулера

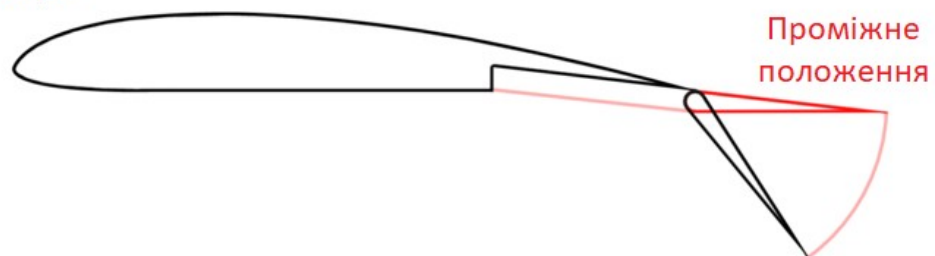


Рис. 4.4 Схема закрилка Фаулера

Для забезпечення максимальної ефективності та водночас збереження конструктивної простоти, оптимальне відносне значення хорди закрилка становить близько $b_3=25\%$ від хорди крила. Зменшення хорди закрилка призводить до погіршення її аеродинамічних характеристик, тоді як збільшення хорди закрилка може призвести до конструктивних складнощів без значного покращення аеродинамічних якостей.

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

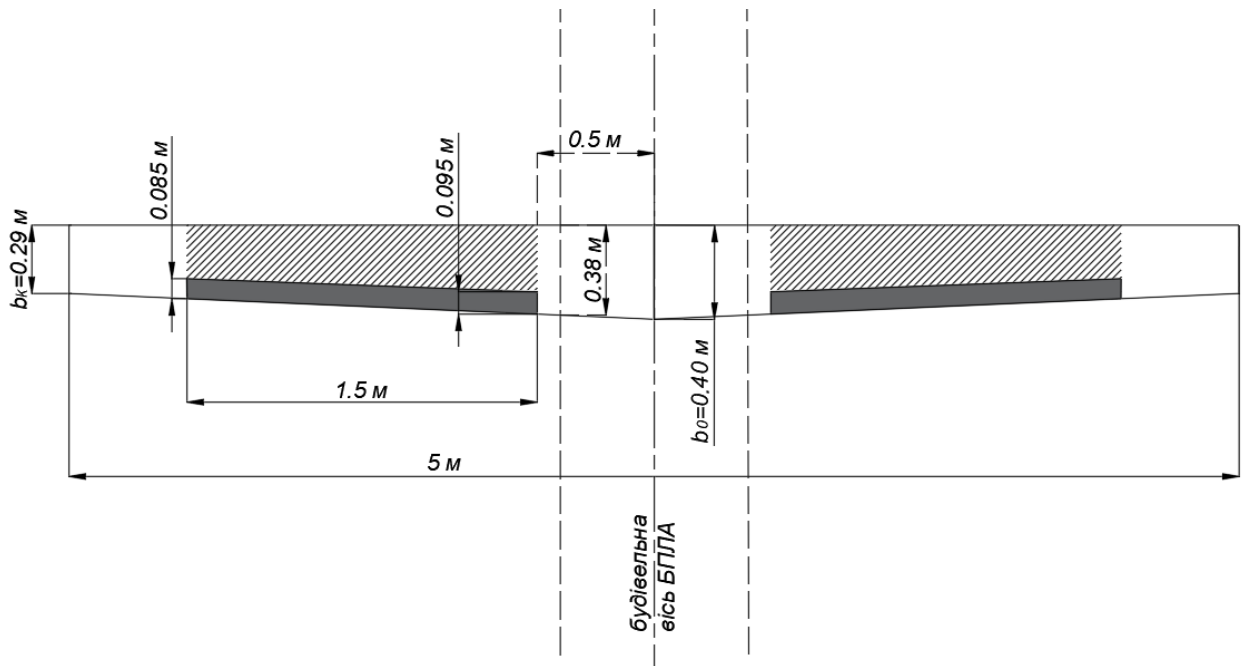


Рис. 4.5 Схема крила з позначеними закрилками, та частина крила під механізацію(заштрихована)

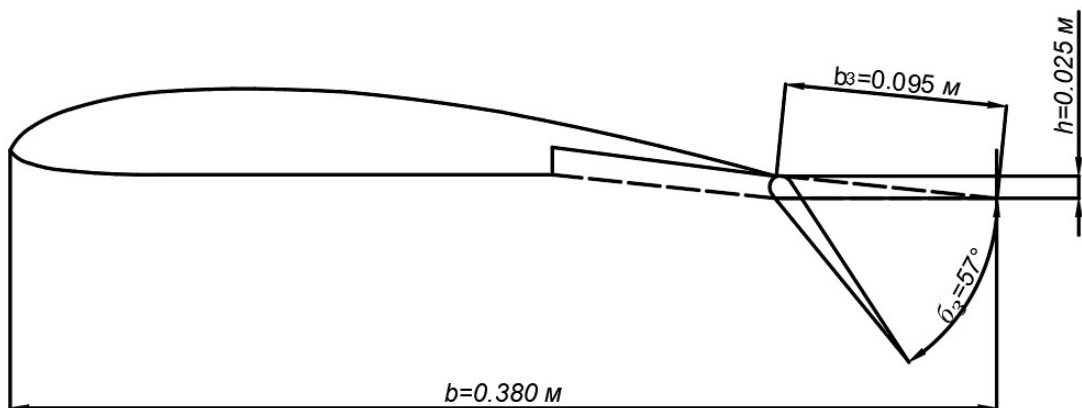


Рис. 4.6 Переріз профілю крила із профілем закрилка.

Закрилки розташовані в задній частині крила, між елеронами та фюзеляжем. Закрилки займають 60-65% крила. Розмах закрилка на кожному крилі займає 1.5 м.

					Арк.
					48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

5.2 ВИБІР ПРАМЕТРІВ ЕЛЕРОНІВ

Елерони – аеродинамічні органи управління, симетрично розташовані на задніх кромках консолей крила. Це складова механізації крила літака, яка відхиляється вгору і вниз і призначена для керування літаком щодо його поздовжньої осі. Елерон при відхиленні створює різницю піднімальної сил правої і лівої половини крила. Робота елерона забезпечує поперечну стійкість і дозволяє здійснювати польоти за кривим. За конструкцією, і аеродинамічною формою елерон подібний до крила.

Під час проектування елеронів, приймаю їх розмах на крилі в $l_{ел} = 0.5 \text{ м}$. Хорда $b_{ел} = 0.25 b_{кр}$. Кути відхилення обираю $\delta_{ел} = 25^\circ$. Розташування проілюстровано на рис. 4.7.

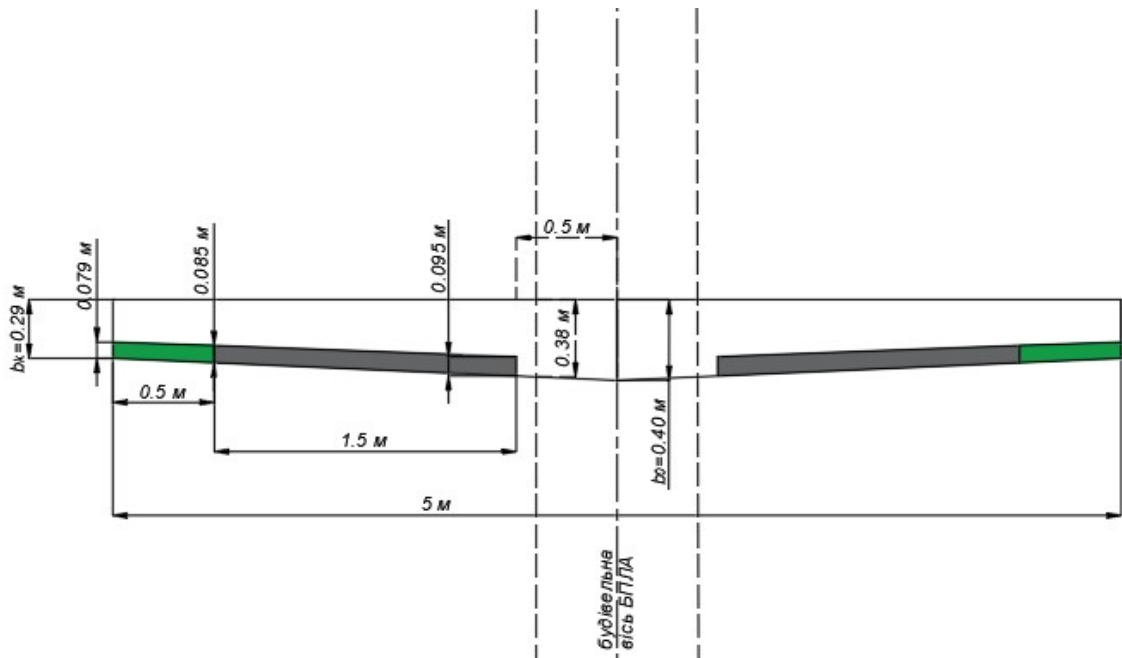


Рис. 4.7 Схема крила із закрилками та елеронами.

Висновок до розділу:

У даному розділі було проведено аналіз різних типів механізації крила з метою вибору оптимального рішення для проєктованого крила БПЛА. Після уважного розгляду і порівняння різних варіантів, було обрано закрилки Фаулера як найбільш відповідний тип механізації для використання на цьому БПЛА.

					Крім того, були визначені параметри елеронів, які будуть використовуватись разом із закрилками Фаулера для досягнення бажаної	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

функціональності та керованості. Результати проведених розрахунків і показані на відповідних рисунках, що підтверджують прийняті рішення та демонструють передбачувану ефективність обраного типу механізації крила і параметрів елеронів.

6 ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ КРИЛА

Арк.

51

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Крило літального апарату складається з поздовжнього набору, що включає стрингери і лонжерони та поперечного набору, що включає нервюри і обшивку.

Для крила обираю однолонжеронну схему замість дволонжеронній так як вона має декілька важливих переваг при проектуванні БПЛА. Однолонжеронна схема зазвичай є легшою, оскільки вона потребує менше конструкційних елементів і з'єднувальних деталей. Це може призвести до зменшення загальної маси літака і поліпшення його показників ефективності. Однолонжеронна схема має менше складних елементів, що спрощує процес виробництва, монтажу та обслуговування. Вона може бути менш витратною і часовими затратами при виробництві та підтримці літального апарату. Однолонжеронна схема зазвичай займає менше місця в крилі це може дозволити використовувати менші розміри крила без втрати його стійкості та міцності.

Нервюра — елемент поперечного силового набору каркаса крила, оперення та інших частин літального апарату або судна, призначений для надання їм форми аеродинамічного профілю. Нервюри закріплюються на поздовжньому силовому наборі (лонжерони, крайки, стрингери) і є основою для закріплення обшивки.[16]

Головна функція нервюр – це розподіл навантаження, яке виникає від аеродинамічних сил, по всій поверхні крила. Вони допомагають підтримувати форму та жорсткість крила під час польоту, запобігаючи деформації або перекрученню. У комбінації з лонжеронами, стрингерами та обшивкою, нервюри утворюють структурну систему крила, яка забезпечує оптимальну міцність, стійкість та ефективність літака під час польоту.

Використовуючи програму Profili 2 отримую теоретичні контури

	нап	вкрила, враховуючи, з	товщина обшивки зверху 1.5 мм, знизу 1.5		Арк.
					52
Змн.	ММ. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

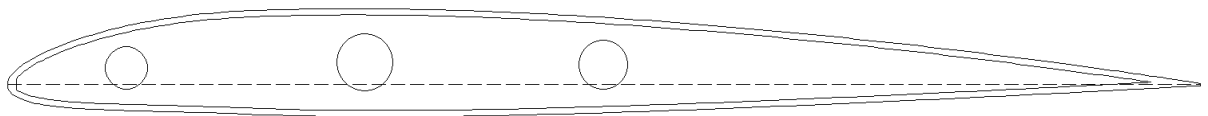


Рис. 6.1 Теоретичний контур нервюри напівкрила, що проектується.

Кесон – силова частина крила та інших елементів планера. Являє собою конструкцію балочного типу з передньою і задньою стінками, зверху і знизу — працюючою обшивкою.[17] Основна функція кесона полягає у забезпеченні жорсткості та міцності крила. Він служить для розподілу аеродинамічних навантажень вздовж крила, сприймає сили тяги, стиску та згину, які виникають під час польоту. Кесон також може використовуватися для розміщення системи паливних баків, керування аеродинамічними клапанами чи проводів.

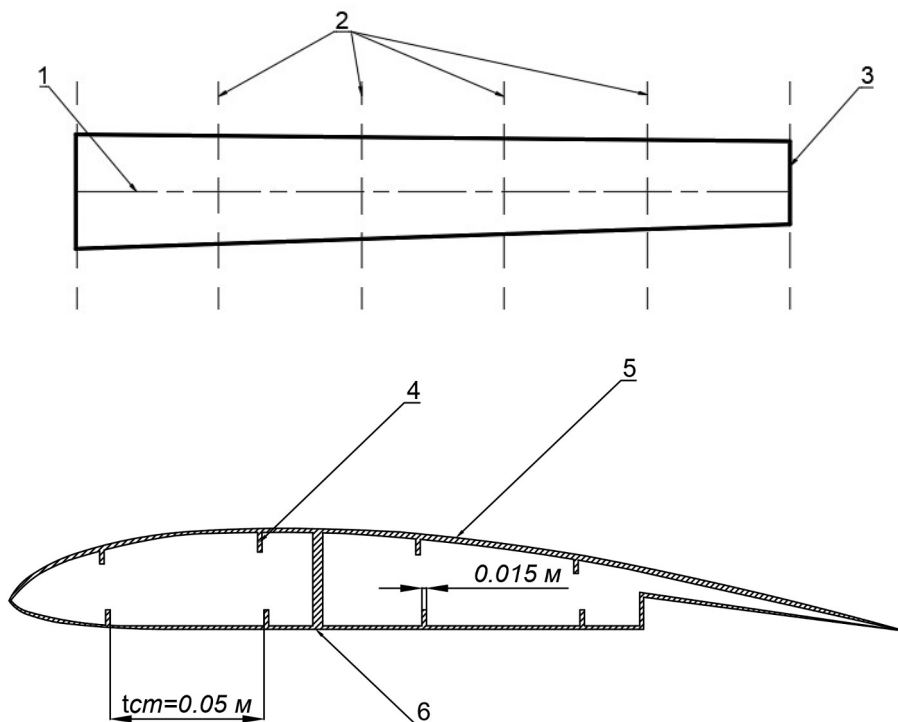


Рис. 6.2 Схема перерізу кесону крила.

1-вісь лонжерона; 2-площини встановлення нервюр; 3-теоретичний контур півкрила; 4-стрінгер; 5-верхня панель обшивки; 6-нижня панель обшивки

Висновок до розділу:

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У даному розділі було обрано і описано конструктивну схему крила – однолонжеронну кесонного типу. Описано її переваги перед дволонжеронною. Схеми було проілюстровано на рисунках.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7 МОДЕЛЮВАННЯ КРИЛА АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ					Арк.
										54

Використовуючи програму Autodesk Inventor, створюю модель крила до БПЛА. Створення буде показано у вигляді рисунків.

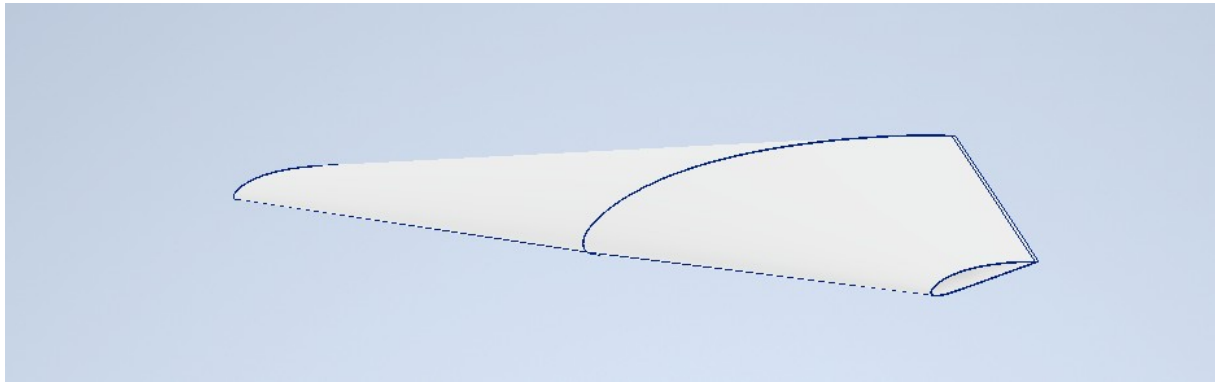


Рис. 7.1 Створення обшивки крила

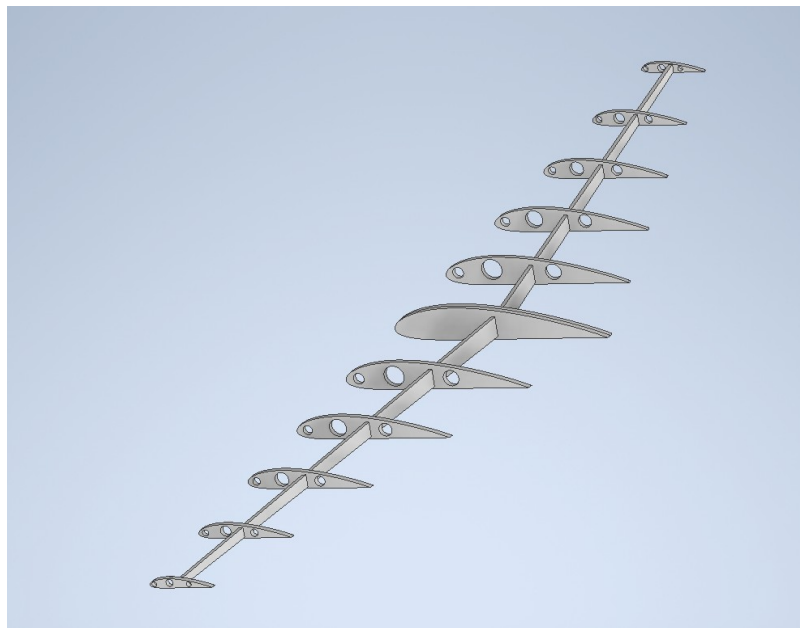


Рис. 7.2 Створення лонжерона і нервюр крила

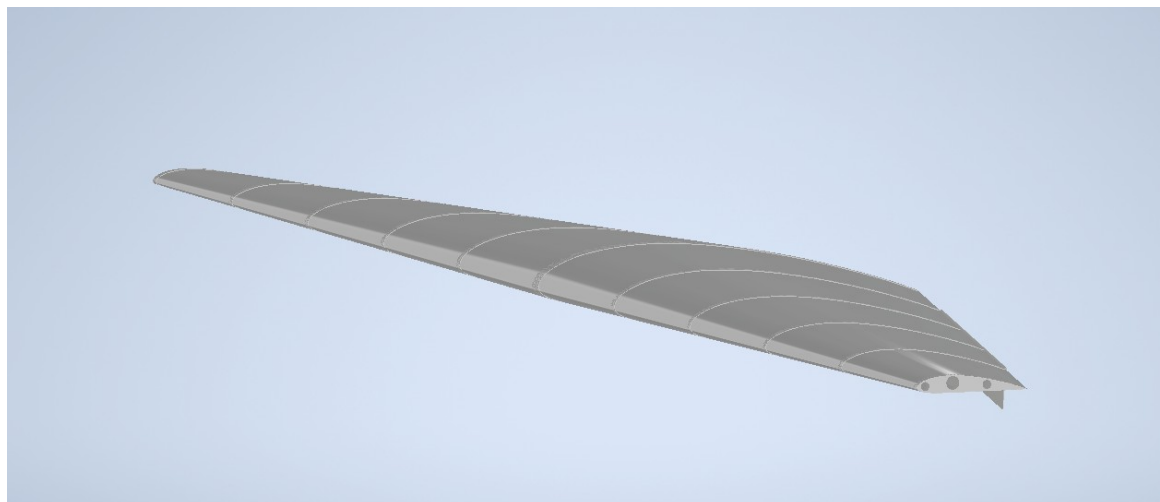


Рис. 7.3 Загальний вигляд крила в збірці

У даному розділі, я за допомогою програмного забезпечення Autodesk Inventor побудував 3д моделі компонентів крила і зібрав їх у збірку.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВОК ДО ПРОЕКТУ	

Під час виконання даного дипломного проекту, я розглянув 3 БПЛА-аналоги, дослідив їх геометричні та льотно-технічні характеристики.

Були досліджені аеродинамічні профілі, обрано найвигідніший, за допомогою програмного забезпечення було побудовано графіки поляр цього профілю.

Окрім того, в рамках проекту було розроблено крило, для якого була обрана та обґрунтована механізація у вигляді закрилок Фаулера. Також були розроблені елерони, нервюри та кесон, що сприяють покращенню контролю та маневреності БПЛА.

Крило, яке було спроектовано та побудовано за допомогою програмного забезпечення, є ефективним і оптимальним для використання на БПЛА.

Закрилки Фаулера були обрані задля забезпечення більшого діапазону коефіцієнта підйому та контролю кута атаки. Це дозволяє змінювати конфігурацію крила в залежності від потреби, що сприяє досягненню кращої аеродинамічної ефективності та маневреності.

Елерони, нервюри та кесон відіграють важливу роль в покращенні контролю та маневреності безпілота.

В результаті роботи було побудовано крило, його елементи, які згодом були зібрані в збірку.

Крило відповідає заданим характеристикам в технічному завданні. А саме, висоті польоту до 5000 м, розмах крил складає 5 м, крейсерській швидкості в 190 км/год та злітній масі в 200 кг.

									Арк.
									57
Змн.	Арк.	№ докум.	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ			Підпис	Дата		

1. Горлиця (безпілотний авіаційний комплекс) [Електронний ресурс] – [https://uk.wikipedia.org/wiki/Горлиця_\(безпілотний_авіаційний_комплекс\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Горлиця_(безпілотний_авіаційний_комплекс))
2. Spectator [Електронний ресурс] – <https://uk.wikipedia.org/wiki/Spectator>
3. IAI Searcher [Електронний ресурс] – https://ru.wikipedia.org/wiki/IAI_Searcher
4. Аеродинамічний профіль [Електронний ресурс] – https://www.wikiwand.com/uk/Аеродинамічний_профіль
5. Ojeda-Britez Engineering Portfolio [Електронний ресурс] – <https://ojeda-britezengineeringportfolio.weebly.com/airfoil-design.html>
6. Поляра [Електронний ресурс] – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Поляра_\(аеродинамика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Поляра_(аеродинамика))
7. Аеродинамічна якість [Електронний ресурс] – https://uk.wikipedia.org/wiki/Аеродинамічна_якість
8. Механізація крила [Електронний ресурс] – https://uk.wikipedia.org/wiki/Механізація_крила
9. Елерон [Електронний ресурс] – <https://uk.wikipedia.org/wiki/Елерон>
10. Руль напрямку [Електронний ресурс] – <http://surl.li/hqbd1>
11. Передкрилок [Електронний ресурс] – <https://uk.wikipedia.org/wiki/Передкрилок>
12. Закрилок [Електронний ресурс] – <https://uk.wikipedia.org/wiki/Закрилок>
13. Інтерцептор [Електронний ресурс] – <https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтерцептор>

		14.	Вінглет	[Електронний ресурс]	–	Арк.
			https://uk.wikipedia.org/wiki/Вінглет			58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Про закрывки Фаулера [Электронный ресурс] – <https://thunder-games.livejournal.com/115596.html>
16. Нервюра [Электронный ресурс] – [https://uk.wikipedia.org/wiki/Нервюра_\(техніка\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Нервюра_(техніка))
17. Кессон(авиация) [Электронный ресурс] – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кессон_\(авиация\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кессон_(авиация))

					Додаток І	Арк.
					АЛ9107.16.20.00.00 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Координати аеродинамічного профілю НАСА 2209	59

1.00000	0.00094	0.00016	0.00171
0.99005	0.00248	0.00005	-0.00092
0.96982	0.00554	0.00080	-0.00358
0.94659	0.00897	0.00262	-0.00616
0.92268	0.01239	0.00547	-0.00849
0.89864	0.01573	0.00948	-0.01061
0.87457	0.01898	0.01502	-0.01260
0.85048	0.02213	0.02289	-0.01452
0.82637	0.02519	0.03449	-0.01637
0.80225	0.02815	0.05099	-0.01799
0.77811	0.03102	0.07173	-0.01917
0.75397	0.03380	0.09474	-0.01998
0.72982	0.03649	0.11877	-0.02058
0.70566	0.03907	0.14309	-0.02116
0.68149	0.04157	0.16724	-0.02183
0.65733	0.04396	0.19125	-0.02268
0.63316	0.04625	0.21527	-0.02363
0.60899	0.04844	0.23906	-0.02438
0.58482	0.05052	0.26305	-0.02489
0.56066	0.05248	0.28707	-0.02522
0.53650	0.05433	0.31117	-0.02538
0.51235	0.05606	0.33533	-0.02538
0.48821	0.05766	0.35953	-0.02525
0.46409	0.05912	0.38377	-0.02500
0.43998	0.06043	0.40806	-0.02464
0.41589	0.06159	0.43237	-0.02419
0.39183	0.06259	0.45671	-0.02365
0.36780	0.06342	0.48108	-0.02304
0.34380	0.06406	0.50546	-0.02236
0.31984	0.06450	0.52987	-0.02162
0.29593	0.06472	0.55429	-0.02083
0.27207	0.06471	0.57873	-0.01999
0.24831	0.06445	0.60318	-0.01911
0.22463	0.06391	0.62764	-0.01819
0.20132	0.06310	0.65211	-0.01724
0.17898	0.06177	0.67659	-0.01626
0.15710	0.05969	0.70107	-0.01525
0.13547	0.05681	0.72556	-0.01421
0.11419	0.05311	0.75005	-0.01315
0.09337	0.04857	0.77454	-0.01207
0.07327	0.04318	0.79903	-0.01097
0.05441	0.03703	0.82352	-0.00984
0.03787	0.03049	0.84801	-0.00869
0.02496	0.02428	0.87249	-0.00752
0.01594	0.01899	0.89696	-0.00632
0.00986	0.01462	0.92141	-0.00510
0.00572	0.01090	0.94573	-0.00385
0.00291	0.00761	0.96938	-0.00261
0.00108	0.00455	0.98993	-0.00150
		1.00000	-0.00094