

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

д-р техн наук, проф

\_\_\_\_\_ Ларін В.Ю.

«\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**  
**ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ**  
**«БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

Тема: «Дослідження характеристик та компонування БПЛА типу  
«Літаюче крило»

Виконавець: \_\_\_\_\_

Спірін М.С.

Керівник: д-р техн. наук, проф. \_\_\_\_\_

Ларін В.Ю.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_

Шмельова Т.Ф.

Київ 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Аеронавігації Електроніки та Телекомунікацій

Кафедра Аеронавігаційних Систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ларін В.Ю.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021р.

## ЗАВДАННЯ

**на виконання дипломної роботи**

Спіріна Михайла Сергійовича

1. Тема дипломної роботи «Дослідження характеристик та компонування БПЛА типу «Літаюче крило»» затверджена наказом ректора від 22 жовтня 2021р. № 2339/ст.
2. Термін виконання роботи: з 22/10/2021 по 24/12/2021.
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій EUROCONTROL, ICAO, УКРЕРОРУХ.
4. Зміст пояснювальної записки: Визначення переваг аеродинамічної схеми літаюче крило у порівнянні з класичною та мультикоптерною схемами при використанні на БПЛА.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки результатів даних, таблиці, формули.

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Підготовка та написання 1 розділу «Теоретичні відомості про безпілотні авіаційні системи»	22.10.2021-30.10.2021	Виконано
2.	Підготовка та написання 2 розділу «Технічне завдання для магістерської роботи»	31.10.2021-5.11.2021	Виконано
3.	Підготовка та написання 3 розділу: «Види сучасних БПЛА та їх використання»	6.11.2021-14.11.2021	Виконано
4.	Підготовка та написання 4 розділу: «Конструктивні особливості та компонування БПЛА за схемою літаюче крило»	15.11.2021-16.12.2021	Виконано
5	Підготовка презентації та доповіді	17.12.2021-24.12.2021	Виконано

7. Дата видачі завдання: « 21 » жовтня 2021 р.

Керівник дипломної роботи

Ларін Віталій Юрійович

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

Спирін Михайло Сергійович

(підпис студента)

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Дослідження компоновки та характеристик БПЛА типу «літаюче крило»» містить 90 сторінок, 59 рисунків, 4 таблиць, 17 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – БПЛА за аеродинамічною схемою літаюче крило.

Предмет дослідження – Польотні характеристики та компоновка безпілотного літального апарату виконаного за схемою літаюче крило у порівнянні з класичною та мультикоптерною схемою.

Мета роботи – визначення переваг використання аеродинамічної схеми літаюче крило, дослідження можливості використання програмного забезпечення SolidWorks при проектуванні безпілотних літальних апаратів.

Методи дослідження – Комп'ютерне моделювання за допомогою програм FLZ Vortex та SolidWorks.

У дипломній роботі досліджується сучасні типи БПЛА, вимоги до експлуатації БПЛА, досліджуються недоліки та переваги різних аеродинамічних схем, пропонується схема оптимальної компоновки БПЛА побудованого за схемою «літаюче крило».

БЕЗПЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ОПЕРАТОР,  
АЕРОДИНАМІЧНА СХЕМА, ЛІТАЮЧЕ КРИЛО

## **АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	6
Список скорочень.....	8
Вступ.....	10
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО БЕЗПІЛОТНІ АВІАЦІЙНІ СИСТЕМИ .....</b>	<b>11</b>
1.1 Загальні відомості про безпілотний літальний апарат та його компоненти. ....	11
1.2 Використання безпілотних літальних апаратів.....	16
1.3 Ліцензування персоналу .....	27
<b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....</b>	<b>30</b>
<b>РОЗДІЛ 2 СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИМОГ ДО МАГІСТЕРСЬКОГО ДИПЛОМА. 32</b>	<b>32</b>
2.1 Тема магістерської роботи .....	32
2.2 Передумови магістерської роботи.....	32
2.3 Ціль та призначення дипломної роботи.....	32
2.3.1 Ціль роботи .....	32
2.3.2 Призначення роботи .....	32
2.4 Вхідні дані.....	32
2.5 Оцінка наукових результатів та порядок їх реалізації .....	33
2.5.1 Приблизні наукові результати .....	33
2.5.2 Порядок реалізації наукових результатів .....	33
2.6 Порядок реалізації результатів наукових досліджень.....	33
2.7 Етапи роботи.....	34

	7
РОЗДІЛ 3. ВИДИ СУЧАСНИХ БПЛА ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ .....	37
3.1 Класифікація БПЛА .....	37
3.2 Класифікація цивільних БПЛА за призначенням.....	42
3.3 Класифікація БПЛА за конструкцією.....	44
3.3.1 БПЛА літакового типу.....	45
3.3.2 Тейлсітери.....	48
3.3.3 БПЛА на ефекті Коанда .....	49
3.3.4 Мультироторні (гвинтокрильні) системи.....	51
3.3.5 БПЛА аеростатичного типу .....	53
3.3.6 Безпілотні конвертоплани та гібридні схеми.....	55
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	57
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМПОНУВАННЯ БПЛА ЗА СХЕМОЮ ЛІТАЮЧЕ КРИЛО .....	59
4.1 Історія виникнення аеродинамічної схеми «Літаюче крило» .....	59
4.2 Особливості дизайну.....	63
4.3 Сучасні тенденції будування БПЛА .....	68
4.4 Використання концепції здешевлення у проектуванні та виробництві БПЛА .....	73
4.4.1 Отримання теоретичної геометрії з використанням програми FLZ Vortex 74	
4.4.2 Дослідження компоновки БПЛА за схемою літаюче крило.....	77
Висновки до Розділу 4 .....	86
Висновки .....	88
Список використаних джерел .....	91

**Список скорочень**

AOC – Air Operator Certificate  
ATC – Air traffic Control  
ATM – Air Traffic management  
BRLOS – Beyond Radio Line-of-sight  
CPDLC – Controller/Pilot Data Link Communications  
EFIS – Electronic Flight Instrument System  
EHM – Equipment Health Monitoring  
FCC – Flight Control Computer  
FMS – Flight Management System  
HMI – Human-machine Interface  
H-O – Human-Operator  
ICAO – International Civil Aviation Organization  
IFR – Instrumental Flight Rules  
MCM – Maintenance Control Manual  
MEL – Minimum Equipment Level  
MTOM – Maximum Take-off Mass  
NOTAM – Notice to Airmen  
RLOS – Direct Radio Line-of-sight  
RPA – Remotely Piloted Aircraft  
RPAS – Remotely Piloted Aircraft System  
RPS – Remote pilot station  
PANS – Procedures for Air Navigation Service  
PIC – Pilot-in-command  
SMS – Safety Management System  
UAS – Unmanned Aircraft System  
SESAR – Single European Sky  
ATM - Research  
TEM – Threat and Error Management  
VFR – Visual Flight Rules



VMC – Visual Meteorological Conditions

БПЛА – Безпілотний Літальний Апарат

ДППС – Дистанційно Пілотоване Повітряне Судно

УПР – Управління Повітряним Рухом

ДПАС – Дистанційно Пілотована Авіаційна Система

## Вступ

Кожен рік сфера використання безпілотних авіаційних систем збільшується, знаходяться все нові та нові можливості використання безпілотних літальних апаратів у повсякденному житті. Ці системи базуються на передових розробках авіакосмічної галузі, які котрі можуть відкрити нові та покращені можливості для безпечного та більш ефективного використання у цивільній та безпековій галузях.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – це літальний апарат що керується ліцензованим “Віддаленим пілотом” або Оператором віддаленої станції керування, яка знаходиться ззовні (наприклад на землі, на кораблі, на іншому літальному апараті). Оператор БПЛА, котрий спостерігає за станом літального апарату увесь час та може відповідати інструкціям виданими авіадиспетчерами, комунікувати за допомогою голосового або текстового зв’язку, та має пряму відповідальність за безпечне виконання польоту БПЛА. БПЛА може мати на борту різноманітні види систем автопілоту, але в будь-який час оператор може перехопити керування польотом. Це прирівнюється до можливості пілота цивільного літака проводити політ використовуючи автопілот, та мати можливість у будь-який час взяти керування у свої руки.

У теперішній час спостерігається тенденція до збільшення кількості безпілотних літальних апаратів в усіх сферах господарської діяльності. БПЛА використовуються у аерофотозйомці, розважальній сфері, при виконанні повітряної обробки сільськогосподарчих культур, та ін.

У зв’язку з поширенням безпілотних авіаційних систем постало питання масштабування та здешевлення їхнього виробництва. Все частіше виникають новини про створення безпілотних літальних апаратів з обмеженим строком використання, проте зі спрощеними технологіями будувannya.

## Розділ 1. Теоретичні відомості про безпілотні авіаційні системи

### 1.1 Загальні відомості про безпілотний літальний апарат та його компоненти.

*Безпілотний літальний апарат.* Літак - визначається як будь-яка машина, яка може отримувати підтримку в атмосфері за рахунок реакцій повітря, відмінних від реакції повітря на земну поверхню. Літак, який призначений для експлуатації без пілота на борту, класифікується як безпілотний. Безпілотний літальний апарат, який керується з віддаленої пілотної станції, є БПЛА. Усі літаки, класифіковані на рис. 1.1, можуть бути дистанційно пілотовані.

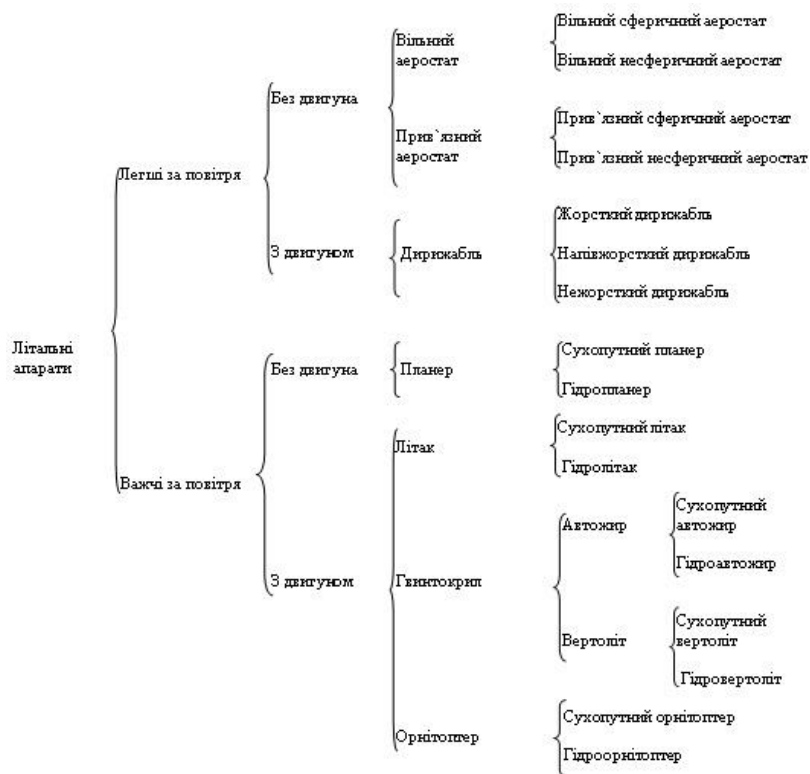


Рис. 1.1 Класифікація літаків

Компоненти БПЛА. БПЛА пілотується з СВК за допомогою лінії командування та управління (С2). Разом з іншими компонентами, такими як обладнання для запуску та відновлення, якщо воно використовується.

*Станція віддаленого керування (СВК).* СВК визначається як компонент

системи дистанційно пілотованого повітряного судна, що містить обладнання, що використовується для пілотування дистанційно пілотованого повітряного судна. За загальним принципом, СВК функціонує так само, як кабіна пілотованого літака, і повинна представляти дистанційному пілоту еквівалентну можливість керувати польотом [1; 2].

Хоча основні функції подібні до функцій пілотованої кабіни/польотної кабіни, конкретна форма, розмір, вміст і компонування будь-якого СВК будуть відрізнятися через такі аспекти, як:

1. тип проведеної операції (VLOS або BVLOS);
2. складність дистанційно пілотованої авіаційної системи;
3. тип використовуваного інтерфейсу керування;
4. кількість дистанційних пілотів, необхідних для роботи з СВК;

Розташування СВК — фіксоване положення на землі або в межах іншого транспортного засобу/платформи (наприклад, корабля чи літака).

СВК забезпечує засоби для віддалених пілотів БАК для моніторингу та контролю роботи БПЛА як на землі, так і в повітрі. Однак інтерфейс між дистанційним пілотом і БПЛА здійснюється через канал C2. Таким чином, СВК має бути розроблена таким чином, щоб забезпечити дистанційного пілота інструментами, необхідними для ефективного керування польотом. Це може призвести до того, що органи керування, дисплеї та сигналізації, будуть відрізнятися від пілотованих літаків, що вплине на процедури дистанційного льотного екіпажу, навчання та ліцензування, а також вимоги льотної придатності компонентів.

Незважаючи на ці потенційні відмінності, основні вимоги інтерфейсу дистанційного пілота/СВК залишаються такими ж, як і для пілотованих літаків, і їх можна підсумувати таким чином:

1. конструкція органів управління та систем керування повинна бути такою, щоб мінімізувати можливість механічного заклинювання, ненавмисних операцій та ненавмисного включення пристроїв блокування керуючих поверхонь..

2. Розташування та маркування пристроїв керування;
3. Швидка ідентифікація в надзвичайних ситуаціях
4. Чутливість пристроїв керування
5. Вентиляція, шум та кліматична система

Повинні бути передбачені засоби, які автоматично запобігатимуть або дозволятимуть дистанційному пілоту впоратися з надзвичайними ситуаціями, що виникли внаслідок передбачуваних збоїв устаткування та систем, вихід з ладу яких загрожує ПС;

Маркування та плакати на приладах, обладнанні, органах керування тощо повинні містити такі обмеження або інформацію, яка необхідна для безпосередньої уваги віддаленого пілота під час польоту;

Елементи керування та дисплеї, наявні в СВК, повинні відповідати відповідним принципам/вимогам до діяльності людини.

Системи та дисплеї СВК не обов'язково мають відповідати екологічним стандартам на рівні кабіни пілотованого повітряного судна; однак вони повинні відповідати відповідним вимогам щодо надійності, цілісності та екологічності, визначених державою.

Ефективність каналу С2, ймовірно, обмежить елементи керування та дисплеї, доступні для віддаленого пілота. Зокрема, деякі традиційні елементи керування, такі як джойстик та дросель, можуть не передбачатися в RPS. Виробники повинні продемонструвати, що надані елементи керування та дисплеї є достатніми для безпечного та ефективного керування БПЛА в нормальній роботі, а також у разі збоїв у системі. При розробці та затвердженні автоматичних систем на БПЛА, які замінюють функцію керування в СВК, необхідно враховувати, що дистанційний пілот може бути не в змозі компенсувати відмови цих систем.

Інформація про якість каналу С2 повинна бути доступною для віддаленого пілота, особливо якщо якість обслуговування погіршується до рівня, на якому необхідно вжити заходів щодо виправлення ситуації.

Компоненти СВК, що піддаються впливу елементів, повинні бути захищені,

як правило, антени, оскільки вони можуть постраждати від блискавки та сильного вітру.

Посилання C2. Канал C2 з'єднує СВК і БПЛА з метою керування польотом. Зв'язок може бути симплексним або дуплексним. Він може перебувати в прямій радіовидимості (RLOS) або поза межами прямої видимості (BRLOS), як описано: RLOS: відноситься до ситуації, в якій передавач(и) і приймач(и) знаходяться у межах взаємного покриття радіоканалу (рис. 1.2) і, таким чином, можуть спілкуватися безпосередньо або через наземну мережу за умови, що віддалений передавач використовує RLOS для БПЛА і передачі завершуються за порівнянний час;

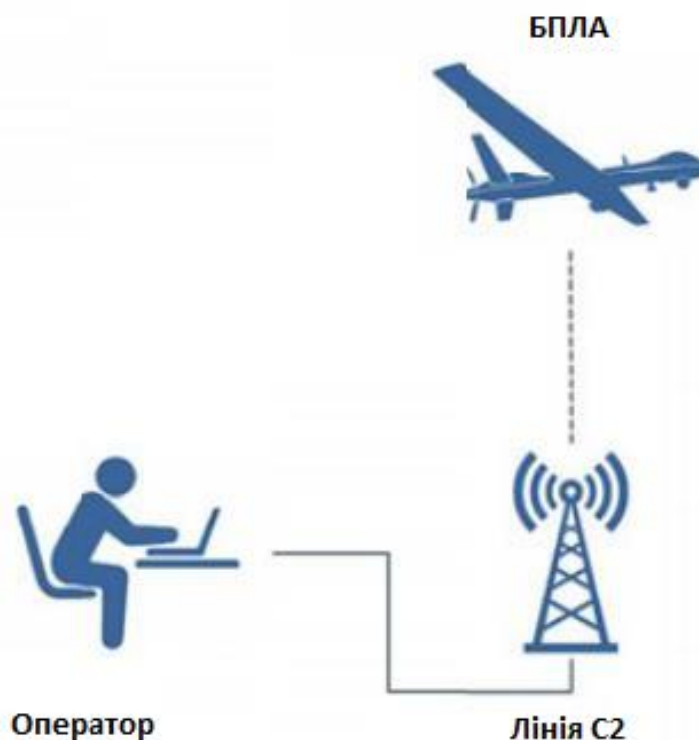


Рис 1.2 Схема роботи RLOS

BRLOS: відноситься до будь-якої конфігурації, в якій передавачі та приймачі не знаходяться в RLOS (рис. 1.3). Таким чином, BRLOS включає в себе всі супутникові системи і, можливо, будь-яку систему, де RPS зв'язується з однією або кількома наземними станціями через наземну мережу, яка не може завершити передачу в проміжок часу, який можна порівняти з системою RLOS.

Різниця між RLOS і BRLOS в основному стосується того, чи вносить будь-яка частина каналу зв'язку значну або змінну затримку в комунікації, ніж архітектура каналу зв'язку.

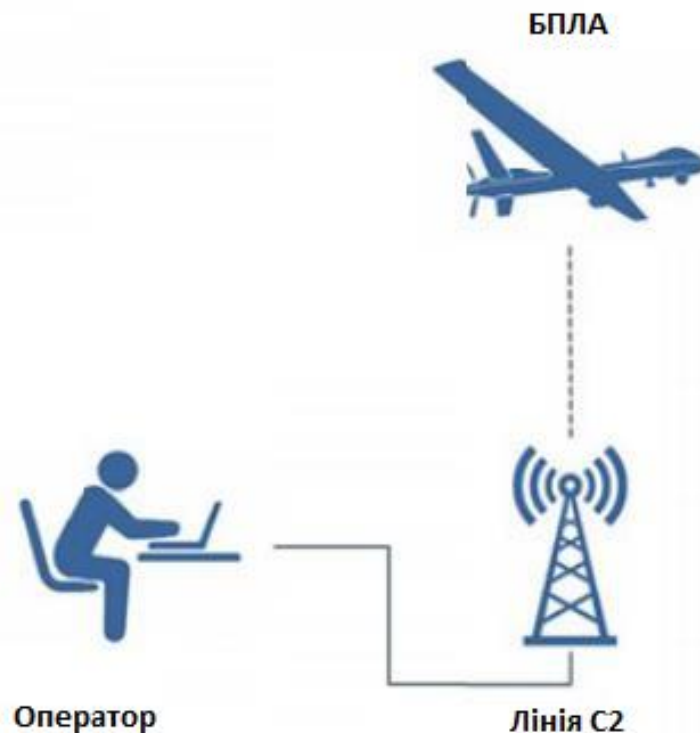


Рис 1.3 Приклад роботи RLOS

*Інші компоненти.* Наступні компоненти можуть входити до складу БАК: Обладнання для зв'язку та спостереження (наприклад, голосовий радіозв'язок, зв'язок контролера/пілота по лінії передачі даних (CPDLC), автоматична залежна спостережна трансляція (ADS-B), транспондер вторинного оглядового радару (SSR);

Навігаційне обладнання;

*Пуско-відновлювальне обладнання* — обладнання для зльоту та посадки РПА (наприклад, катапульта, лебідка, ракета, сітка, парашут, подушка безпеки); комп'ютер керування польотом (FCC), система керування польотом (FMS) та автопілот;

*Система завершення польоту* — дозволяє навмисному процесу контролювано завершити політ у разі надзвичайної ситуації. Системи завершення польоту розроблені таким чином, щоб звести до мінімуму

можливість травмування або пошкодження людей, майна чи інших літаків на землі та в повітрі.

*Категоризація RPA.* Категоризація RPA може бути корисною з метою пропорційного застосування вимог щодо управління ризиками безпеки, сертифікації, експлуатації та ліцензування. RPA можна класифікувати за такими критеріями, як: максимальна злітна маса (МТОМ), кінетична енергія, різні критерії продуктивності, тип/область операцій, можливості. На багатьох форумах ведеться робота з розробки схеми категоризації.

*Передача повноважень.* На відміну від пілотованої авіації, де кабіна є невід'ємною частиною літака, БПЛА можна пілотувати з будь-якого затвердженого СВК. Якщо для польоту використовується більше одного RPS, вони можуть бути розміщені разом або розповсюджені по всьому світу. У будь-якому випадку має бути забезпечена безпечна та ефективна передача керування пілотуванням від однієї станції до іншої. [1]

## **1.2 Використання безпілотних літальних апаратів.**

Робота БАС буде визначатися метою польоту, правилами польотів, зонами дії та функціональними рівнями ланок С2.

У пілотованій авіації міжнародними вважаються операції, під час яких повітряне судно перетинає міжнародний кордон або діє у повітряному просторі відкритого моря. RPAS надають додаткові сценарії для розгляду, за яких тільки RPA, тільки RPS або обидва RPA і RPS експлуатуються не на території держави експлуатанта, наприклад:

а) RPA функціонує в повітряному просторі лише однієї держави (держава БХ), в той час як він дистанційно пілотується з RPS, розташованого в будь-якій іншій державі (державі Y);

б) або RPA, або RPS експлуатується в повітряному просторі відкритого моря;

с) як RPA, так і RPS експлуатуються на території іншої держави, ніж



держава оператора.

Тип операції. Додаток 6 ІСАО «Експлуатація повітряних суден» визначає різні типи експлуатації пілотованої авіації:

а) комерційний повітряний транспорт;

б) авіація загального призначення, яка включає корпоративну авіацію та повітряну роботу.

Однак для операцій ДПАС ця відмінність не вважається актуальною. Нормативно-правові відмінності будуть засновані на масштабі та складності операції, а не на традиційних типах експлуатації або класі літаків. Це впливає на відповідальність операторів ДПВС. Слід зазначити, що перевезення осіб на борту ДПВС не розглядатиметься в початковій нормативній базі.

РРА, спроектований і побудований не для рекреаційних цілей, може регулюватися під юрисдикцією органів цивільної авіації, навіть якщо вони використовуються для рекреаційних цілей. І навпаки, моделі літальних апаратів, розроблені та побудовані для рекреаційних цілей, якщо вони використовуються для будь-яких інших цілей, крім відпочинку, можуть регулюватися під юрисдикцією органів цивільної авіації.

Правила польотів. IFR і VFR застосовуються, як і для пілотованих літаків (наприклад, вимоги до обладнання, операцій та відповідальності); однак наступні ситуації можуть виявитися складнішими для вирішення:

*Політ за ППП* — політ, що виконується відповідно до ППП:

Під час виконання ППП у візуальних метеорологічних умовах (VMC) може зустрічатися рух за ПВП, можливо, що має віддачу. Дистанційний пілот повинен вміти ідентифікувати ці ситуації та вжити відповідних заходів;

*Політ за ПВП* — політ, що виконується відповідно до ПВП:

Для виконання польотів за ПВП дистанційний пілот повинен мати засоби для дотримання умов видимості та відстані від мінімумів хмар; під час роботи за ПВП може зустрічатися інший рух за ППП або ПВП, який, можливо, має віддачу. Дистанційний пілот повинен бути в змозі визначити ці ситуації та вжити відповідних заходів.

Держави повинні розглянути наслідки використання RPA, що працює в такій близькості від інших повітряних суден, що необхідно буде застосовувати правила відведення, особливо якщо RPA через його малий розмір або інші фізичні характеристики не буде візуально виявлятися в достатній кількості. час, щоб уникнути небезпечної близькості.

Зона дії. RPA, який призначений для експлуатації в будь-якому даному повітряному просторі, повинен відповідати вимогам цього повітряного простору, напр. сертифікати, дозволи та обладнання. Незалежно від цих сертифікатів, погоджень або вимог до обладнання, RPA може бути заборонено працювати в певних районах, наприклад, над густонаселеними районами, якщо це визначено органом цивільної авіації

*Операції VLOS.* Як визначено в Додатку 2 ICAO, під час виконання операцій VLOS дистанційний пілот або спостерігач RPA повинен підтримувати прямий візуальний контакт без сторонньої допомоги (рис. 1.4) з дистанційно пілотованим повітряним судном.

Межі або датчик у якому можна безпечно проводити операції VLOS, не визначені. Однак при визначенні дальності необхідні можливості дистанційного пілота та спостереження ДППС, метеорологічні умови, розмір і якість ДППС та будь-які інші відповідні фактори.

Операції VLOS можуть виконуватися в більшому горизонтальному діапазоні, коли один або кілька спостерігачів RPA підтримують пілота, утримуючи RPA подалі від іншого руху та перешкод. Дальність по вертикалі також може бути збільшена залежно від розташування спостерігача RPA (наприклад, на борту іншого літака). [1;2]

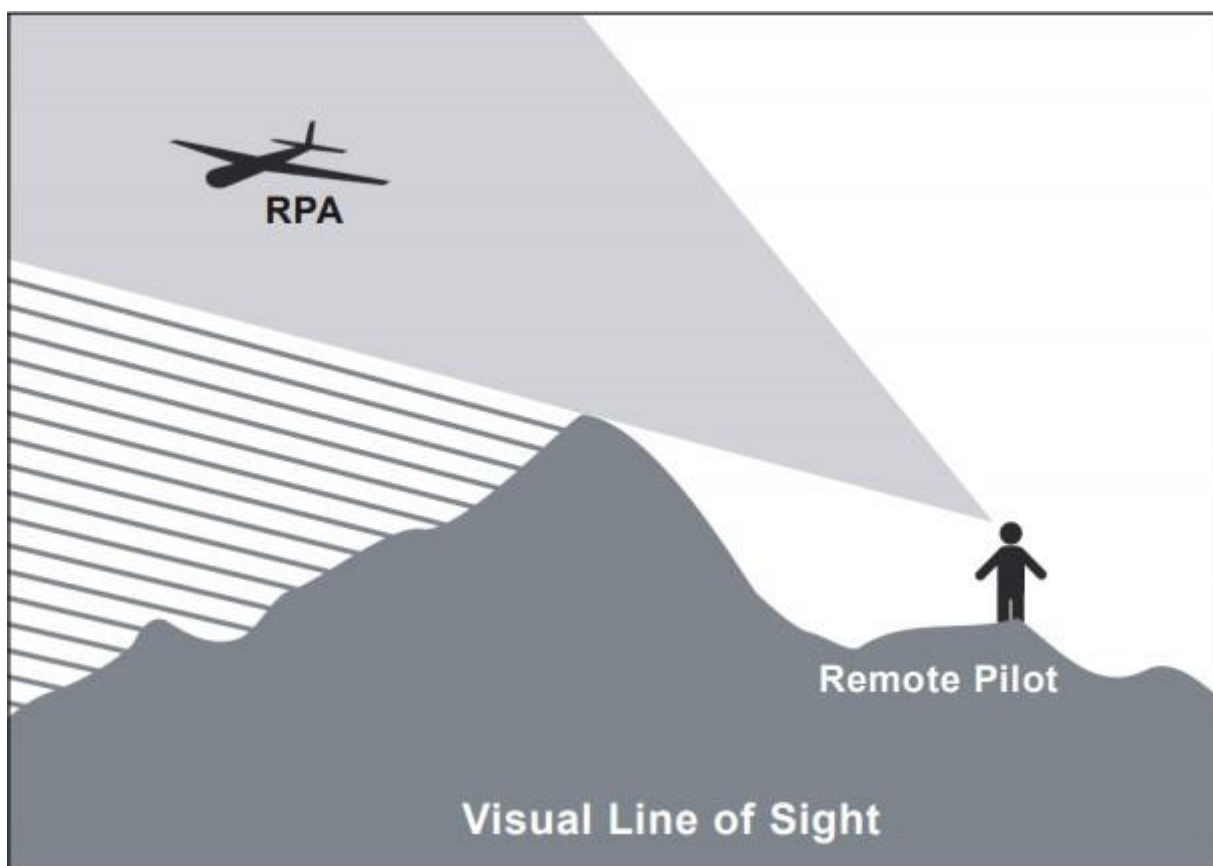


Рис. 1.4 Операції візуальної прямої видимості

Операції BVLOS. Якщо ні дистанційний пілот, ні спостерігач(и) RPA не можуть підтримувати прямий візуальний контакт без сторонньої допомоги з RPA, операції вважаються BVLOS. Мінімальні вимоги до обладнання для підтримки операцій BVLOS значно зростають із збільшенням діапазону та складності таких операцій, а також витрат, пов'язаних із забезпеченням надійності лінії C2. Важливо вміти виявляти конфліктний рух або перешкоди та вживати відповідних заходів для їх уникнення.

Уникнення зіткнення.. Командир пілотованого повітряного судна відповідає за виявлення та уникнення потенційних зіткнень та інших небезпек (рис. 1.5). Така ж вимога буде існувати і для віддаленого пілота RPA. Технологія, яка забезпечує віддаленому пілоту достатні знання про середовище повітряного судна для виконання відповідальності, повинна бути включена в літак разом із відповідними компонентами, розташованими на дистанційній пілотній станції.

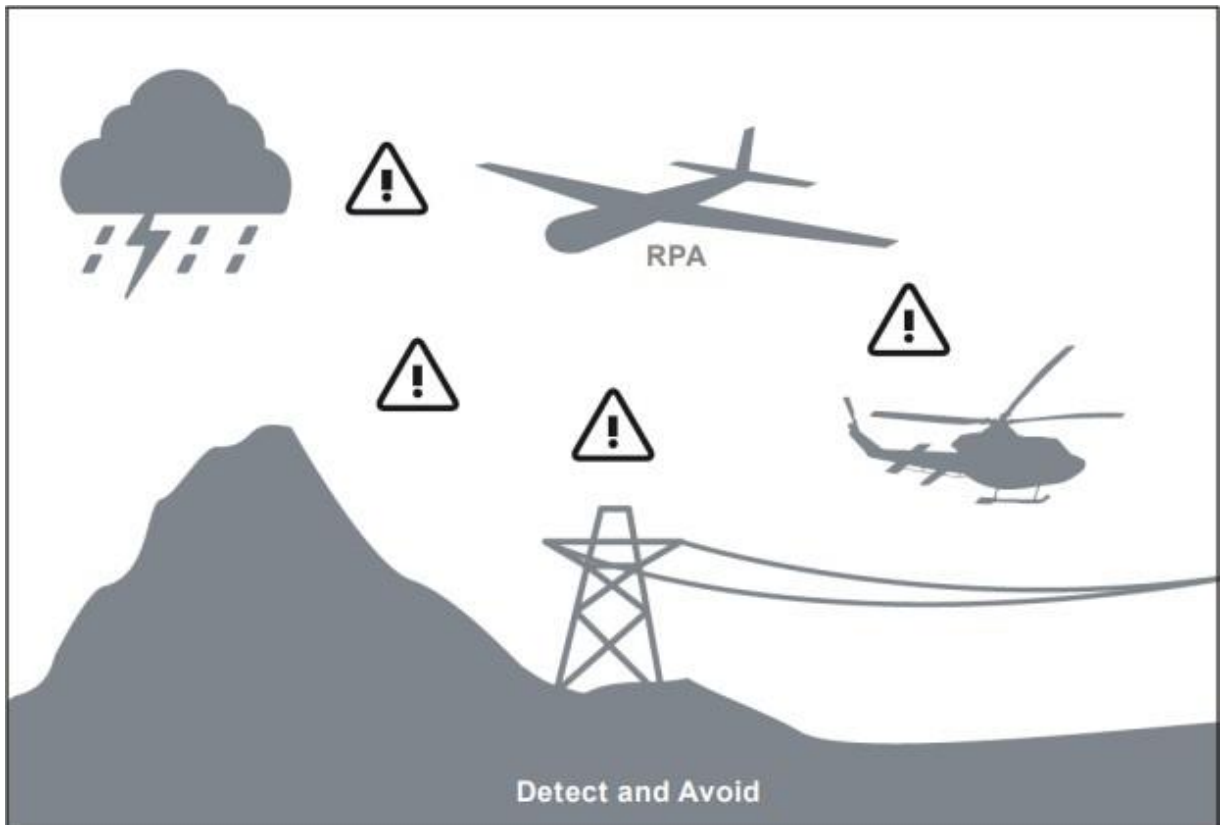


Рис 1.5 Вірогідні загрози.

Командир пілотованого повітряного судна відповідає за виявлення та уникнення потенційних зіткнень та інших небезпек. Така ж вимога буде існувати і для віддаленого пілота RPA. Технологія, яка забезпечує віддаленому пілоту достатні знання про середовище повітряного судна для виконання відповідальності, повинна бути включена в літак разом із відповідними компонентами, розташованими на дистанційній пілотній станції.

Основний принцип правил польоту полягає в тому, що пілот може бачити інші літаки і таким чином уникати зіткнень, підтримувати достатню відстань від інших повітряних суден, щоб не створювати небезпеки зіткнення, і дотримуватися правил правильного шляху, щоб уникати шляху інших літаків. Інтеграція RPA може не вимагати змін до Стандартів, однак у міру розвитку технології RPAS необхідно буде розробити альтернативні засоби ідентифікації небезпек зіткнення з прийнятими відповідними SARPS. Не дивлячись на це, правила відводу залишатимуться важливими для безпечної експлуатації повітряних суден з пілотом або без нього. Аналогічно, для наземного

переміщення RPA в аеродромному середовищі необхідно, щоб операції RPA проводилися безпечно та ефективно, не порушуючи виконання інших операцій літака.

Основний принцип правил польоту полягає в тому, що пілот може бачити інші літаки і таким чином уникати зіткнень, підтримувати достатню відстань від інших повітряних суден, щоб не створювати небезпеки зіткнення, і дотримуватися правил правильного шляху, щоб уникати шляху інших літаків. Інтеграція RPA може не вимагати змін до Стандартів, однак у міру розвитку технології RPAS необхідно буде розробити альтернативні засоби ідентифікації небезпек зіткнення з прийнятими відповідними SARPS. Не дивлячись на це, правила відводу залишатимуться важливими для безпечної експлуатації повітряних суден з пілотом або без нього. Аналогічно, для наземного переміщення RPA в аеродромному середовищі необхідно, щоб операції RPA проводилися безпечно та ефективно, не порушуючи виконання інших операцій літака.

Пілоти літаків зобов'язані спостерігати, інтерпретувати та прислухатися до різноманітних візуальних сигналів, призначених для привернення їхньої уваги та/або передачі інформації. Такі сигнали можуть варіюватися від світлових і піротехнічних сигналів для руху на аеродромі до сигналів, які використовуються літаками-перехоплювачами. До віддалених пілотів будуть пред'являтися ті самі вимоги, незважаючи на те, що вони не перебувають на борту літака, що вимагатиме розробки та схвалення альтернативних засобів відповідності цій вимозі.

З огляду на кожне з вищезазначеного, ДПАС знадобляться рішення для виявлення та уникнення, щоб відповідати визначеним вимогам до виконання, пов'язаним із обов'язками льотного екіпажу. І літак, і дистанційна пілотна станція повинні будуть включати аспекти цієї функціональності для досягнення повного технічного рішення, необхідного в рамках оперативного схвалення RPA. Залежно від типу та розташування операцій, які буде проводити RPA, вони можуть включати можливість:

1. розпізнавати та розуміти аеродромні знаки, маркування та освітлення;
2. розпізнавати візуальні сигнали (наприклад, перехоплення);
3. визначати місцевість та уникати її;
4. виявляти й уникати суворої погоди
5. підтримувати відповідну відстань від хмари;
6. забезпечити «візуальне» відділення від інших повітряних суден або транспортних засобів;
7. уникати зіткнень.

*Управління зв'язку.* Загальні вимоги до зв'язку УПР до та від віддаленого пілота такі ж, як і до пілотованої авіації, що працює в тому самому повітряному просторі. На додаток до дуже високочастотного (VHF) голосу, це також може включати вимогу підтримки каналу передачі даних.

Очікується, що функція зв'язку УПР буде відповідати RCP, визначеному для повітряного простору, в якому працює RPA. У випадку, коли зв'язок УПР передається через RPA, може знадобитися зворотний/резервний засіб зв'язку з АТС, щоб пом'якшити будь-який збій функції ретрансляції RPA.

Якщо це буде схвалено залученим підрозділом(ами) УПР, це може включати резервну телефонну підтримку. Якщо обговорюються з'єднання з УПР, передбачається, що «система» УПР включає будь-яких уже затверджених постачальників послуг зв'язку, якщо це необхідно.

*Аеродроми.* Загальноновизнано, що інтеграція RPA в експлуатацію аеродрому буде однією з найбільших проблем. Йдеться про положення про те, щоб дистанційний пілот міг ідентифікувати в режимі реального часу фізичну компоновку аеродрому та пов'язане з ним обладнання, таке як освітлення та маркування аеродрому, щоб безпечно та правильно маневрувати літаком. RPA має бути здатним працювати в межах існуючих параметрів аеродрому. Стандарти аеродрому не повинні бути суттєво змінені, а обладнання, розроблене для ДППС, повинно максимально відповідати існуючим положенням. Крім того, там, де RPA експлуатуються разом з пілотованими повітряними суднами,

необхідно узгодити надання ATS.

Можна розглянути питання про створення аеропортів, які підтримуватимуть лише операції ДПАС. Поточні положення щодо проектування, будівництва та експлуатації аеродрому будуть продовжувати застосовуватися, однак деякі поправки або доповнення можуть знадобитися для вирішення унікальних проблем ДПАС.

Унікальні характеристики RPA, які вплинуть на експлуатацію аеродрому, необхідно буде враховувати, щоб полегшити інтеграцію цих літаків. Деякі з областей, які слід розглянути:

1. застосовність аеродромних знаків і маркування для ДППС;
2. інтеграція ДППС з пілотованими літаками в зоні маневрування аеродрому;
3. проблеми, пов'язані зі здатністю RPA уникати зіткнень під час маневрування;
4. проблеми, пов'язані зі здатністю ДППС виконувати інструкції УПР у повітрі або на зоні маневрування (наприклад, «слідувати зеленим Cessna 172» або «перейти позаду Air France A320»);
5. застосовність мінімумів заходу на посадку за приладами до операцій RPA;
6. необхідність спостерігачів RPA на аеродромах для надання допомоги дистанційному пілоту з вимогами уникнення зіткнення;
7. наслідки для аеродромних вимог до ліцензування інфраструктури RPA, таких як засоби заходу на посадку, засоби наземного обслуговування, засоби для запуску/відновлення посадки тощо;
8. вимоги до рятувальних та протипожежних заходів для RPA (і дистанційної пілотної станції, якщо є);

Інтеграція операцій дистанційно пілотованих авіаційних систем у процедури АТМ та АТМ.

*Принципи інтеграції.* Інтеграція ДППС у несегрегований повітряний простір буде поступовим процесом, який ґрунтується на технологічних

досягненнях та розвитку супутніх процедур. Процес починається з обмеженого доступу до повітряного простору, і хоча деякі RPA в кінцевому підсумку зможуть легко інтегруватися з пілотованими польотами, багато хто ні.

Додаючи будь-який новий тип користувача повітряного простору до існуючої аеронавігаційної системи, необхідно звернути увагу на мінімізацію ризику для всіх користувачів повітряного простору. Тому держави та постачальники послуг, які перебувають під наглядом, повинні застосовувати принципи управління безпекою та аналізувати при запровадженні операцій ДПАС. Ці принципи та аналіз повинні відображати поточний розвиток можливостей ДПАС.

Операції RPAS повинні відповідати існуючим вимогам повітряного простору. Ці вимоги до повітряного простору включають, але не обмежуються ними, вимоги до зв'язку, навігації та спостереження, відокремлення від транспорту та відстані від хмар..

*Контрольований повітряний простір.* Для того, щоб RPA був інтегрований в несегрегований контрольований повітряний простір, RPA повинен бути в змозі відповідати існуючим процедурам АТМ. У випадку, якщо повна відповідність неможлива, нові процедури ОПП повинні бути розглянуті авіаційними органами та/або постачальниками послуг авіасполучення за консультацією з оператором ДПАС та представниками інших груп користувачів повітряного простору. Будь-які нові процедури ОПП повинні бути максимально узгоджені з процедурами для пілотованих польотів, щоб звести до мінімуму порушення роботи системи ОПП.

*Неконтрольований повітряний простір.* Для того, щоб RPA був інтегрований в невідокремлений неконтрольований повітряний простір, RPA повинен мати можливість взаємодіяти з іншими користувачами повітряного простору, не впливаючи на безпеку або ефективність існуючих польотів..

Етапи зльоту та посадки. ДПАС може експлуатуватися як у VMC, так і в IMC, і будуть застосовуватися відповідні обмеження VFR та IFR, що застосовуються до пілотованих літаків. Ці операції також можуть виконуватися в межах VLOS або BVLOS залежно від можливостей залученої RPAS. Особливої уваги заслуговує



вимога до оператора ДППС, щоб він міг визначати метеорологічні умови, в яких ДППС працює на цих етапах, щоб гарантувати, що ДППС дійсно працює відповідно до застосовних правил польотів.

*Етапи зльоту та посадки.* ДПАС може експлуатуватися як у VMC, так і в ІМС, і будуть застосовуватися відповідні обмеження VFR та IFR, що застосовуються до пілотованих літаків. Ці операції також можуть виконуватися в межах VLOS або BVLOS залежно від можливостей залученої RPAS. Особливої уваги заслуговує вимога до оператора ДППС, щоб він міг визначати метеорологічні умови, в яких ДППС працює на цих етапах, щоб гарантувати, що ДППС дійсно працює відповідно до застосовних правил польотів.

*Зв'язок, навігація та спостереження (CNS).* Вимоги до функціональності та експлуатаційних характеристик ДППС в ідеалі повинні бути еквівалентними вимогам, встановленим для пілотованих повітряних суден, і відповідати повітряному простору, в якому експлуатується ДППС і де надається ОПР. Вимоги до експлуатаційних характеристик та оснащення будуть визначатися факторами, пов'язаними з робочим середовищем, які можуть включати класи повітряного простору, близькість до густонаселених районів, місцевість тощо [5].

*Право прольоту.* Як і у випадку з пілотованими повітряними суднами, RPA зобов'язаний дотримуватись правил відводу в Додатку 2 та RWC інших літаків (пілотованих або безпілотних). Вони повинні уникати проходження над, під або попереду інших повітряних суден, якщо тільки воно не проходить чітко і не враховує вплив турбулентності повітряного судна в слід. Через відносно невеликий розмір і низьку помітність деяких RPA, пілотам пілотованих літаків та іншим віддаленим пілотам може бути важко візуально помітити RPA.

Вимоги до роботи ДПАС. Експлуатаційні характеристики RPAS вимагатимуть додаткового розгляду під час планування їх інтеграції в систему АТМ, оскільки їх характеристики продуктивності впливатимуть на те, як провайдери АТС керують своєю інтеграцією зі звичайним трафіком. Наприклад, висотні, довготривалі (HALE) RPA, які зазвичай працюють на більш низьких

швидкостях при наборі висоти на високих рівнях польоту та зниженні з них, проходять рівні, на яких пілотовані літаки літають на високих швидкостях. Цей перепад швидкостей може створювати проблеми з розділенням у змішаному середовищі

Час відповіді керуючої команди може вплинути на здатність контролера підтримувати операції RPA, якщо надміру кількість ресурсів виділено на одиничний літак. Це також може бути результатом інших експлуатаційних характеристик, таких як скорочення висоти, зниження або швидкість повороту, які можуть суттєво відрізнятися від характеристик звичайних літаків. Таким чином, дуже важливо, щоб АТСО усвідомлював і передбачав ці потенційні недостатні результати планував відповідно. Звичайні інструкції, такі як «прискорити» та «негайний», у багатьох випадках можуть бути непрактичними.

АТСО повинен володіти загальними знаннями про експлуатаційні характеристики RPA і бути обізнаним із специфічними характеристиками RPA, що працюють у повітряному просторі. Слід враховувати наступні експлуатаційні характеристики:

1. швидкість;
2. швидкість набору висоти, спуску або повороту;
3. турбулентність сліду;
4. латентність; і
5. вплив кута нахилу на здатність та надійність лінії зв'язку С2 та АТС.

*Процедури АТМ.* Відсутність бортового пілота вимагатиме деяких унікальних процедур для інтеграції ДПВС у несегрегований повітряний простір. У найбільш практичній мірі процедури повинні бути ідентичними тим, які розроблені для пілотованих літаків.

Деякі з проблем, які необхідно вирішити для інтеграції польотів RPA, включають наступне:

1. планування польоту;
2. позначення типу RPA;
3. фразеологізм (вживається разом із/за АТЦ);

4. політ за ПВП:
5. стандарти поділу;
6. правила відчуження;
7. політ за ППП:
8. стандарти поділу;
9. правила відчуження;
10. процедури в надзвичайних ситуаціях та надзвичайних ситуаціях:
11. Збій зв'язку C2;
12. збій зв'язку УПР з віддаленим пілотом; і
13. процедури перехоплення/дотримання ППО

### 1.3 Ліцензування персоналу

Дистанційні пілоти є основоположними для безпечної експлуатації ДПАС. Вони несуть ті самі основні обов'язки, що й пілоти пілотованих повітряних суден, за експлуатацію повітряних суден відповідно до правил польоту, а також законів, правил і процедур тих держав, в яких здійснюються операції. Однак компетенції цих осіб необхідно буде ретельно переглянути, щоб переконатися, що знання, навички та ставлення є відповідними для цих нових видів операцій.

Існує багато категорій літаків, серед них літаки, дирижаблі, безкоштовні повітряні кулі, планери, гелікоптери та EVTOL. Літаки кожної з цих категорій потенційно можуть керуватися дистанційно. Для пілотованих літальних апаратів рейтинги класу відрізняють одномоторні та багатомоторні, а також наземні літаки та гідролітаки; однак для безпілотних літальних апаратів рейтинги класу також повинні стосуватися RPS та його взаємодії з RPA. Ці міркування вимагають нового підходу до ліцензування.

*Орган ліцензування.* Ліцензії дистанційних пілотів повинні бути видані або надані дійсними органом ліцензування держави, в якій знаходиться RPS, навіть якщо RPS лише тимчасово розташована в державі. Це полегшує нагляд за дистанційним пілотом органом ліцензування.

*Діяльність людини.* Вимоги до ліцензії дистанційного пілота та вимоги до компетенції спостерігача RPA повинні враховувати інтеграцію питань людської продуктивності в підхід до навчання та оцінювання, що ґрунтується на компетенції.

Оператор ДПАС повинен відповідати всім вимогам, встановленим державою оператора щодо його експлуатації. Ці вимоги повинні відповідати розміру, структурі та складності організації оператора ДПАС. Оператор ДПАС повинен гарантувати, що всі співробітники ознайомлені із законами, правилами та процедурами, що застосовуються до виконання їхніх обов'язків, передбаченими для районів, які необхідно пройти, аеродромів, які будуть використовуватися, та пов'язаними з ними аеронавігаційними засобами. Процедури оператора ДПАС не повинні дозволяти віддаленим членам льотного екіпажу виконувати будь-які дії під час критичних фаз польоту, крім тих, які необхідні для безпечної експлуатації ДПАС. Оператор ДПАС або призначений представник повинен нести відповідальність за оперативний контроль. Відповідальність за оперативний контроль слід делегувати віддаленому льотчику (PIC) і офіцеру з польотів/льотному диспетчеру, якщо затверджений експлуатантом метод контролю та нагляду за виконанням польотів вимагає використання офіцера з польотів/льотного диспетчера персонал.

Оператор RPAS повинен мати ROC, виданий відповідно до застосовних правил та у спосіб, що відповідає положенням Додатку 6. Цей сертифікат можна порівняти із сертифікатом авіаоператора для оператора комерційного повітряного транспорту. ROC надає оператору RPAS повноваження проводити операції відповідно до умов та обмежень, викладених у специфікаціях операцій, доданих до ROC.

Видача ROC державою експлуатанта залежить від демонстрації експлуатантом ДПАС належної організації, методу контролю та нагляду за виконанням польотів, програми навчання, а також домовленостей щодо наземного обслуговування та технічного обслуговування відповідно до характеру та обсягу операцій. визначені та співмірні з розміром, структурою та

складністю організації. Сфера контролю та нагляду повинна включати операції «від воріт до воріт» RPA та використання одного або кількох RPS, розташованих на одному або кількох ділянках. Держава оператора повинна створити систему як для сертифікації, так і для постійного нагляду за оператором ДПАС, щоб забезпечити дотримання необхідних стандартів операцій. [1]

Обов'язок персоналу носити документи. Під час роботи з RPA або RPS:

1. дистанційний пілот повинен пройти поточний медичний огляд;
2. дистанційний пілот повинен мати при собі дійсну ліцензію дистанційного пілота;
3. спостерігач RPA повинен мати підтвердження компетенції спостерігача RPA, видане оператором RPA або затвердженою організацією з підготовки, у його/її володінні;

Дистанційний пілот повинен відповідати вимогам до нещодавнього досвіду, встановленим органом ліцензування, або, якщо вони більші, вимогам до нещодавнього досвіду, встановленим державою експлуатанта у разі міжнародних польотів копію ліцензії(-й) дистанційного пілота необхідно надати відповідним органам.

*Володіння мовою.* Віддалені пілоти, які повинні спілкуватися з ОПР, повинні продемонструвати здатність говорити та розуміти мову, яка використовується для зв'язку ОПР, до рівня, зазначеного у вимогах до володіння мовою.

Доказ володіння англійською мовою або мовою, яка використовується для спілкування під час дистанційного пілотованого польоту, має бути вказано в ліцензії дистанційного пілота.

У такому підтвердженні знання мови має бути зазначено мову, рівень володіння та термін дії.

Заявник на підтвердження володіння мовою повинен продемонструвати принаймні оперативний рівень володіння мовою як у використанні фразеологізмів, так і простої мови. Для цього заявник повинен продемонструвати, прийнятним для органу ліцензування способом, здатність: ефективно спілкуватися лише голосом і в ситуаціях віч-на-віч;

1. спілкуватися на загальні та пов'язані з роботою теми з точністю та ясністю;
2. використовувати відповідні комунікативні стратегії для обміну повідомленнями та розпізнавання та вирішення непорозуміннь у загальному або пов'язаному з роботою контексті; і
3. успішно та з відносною легкістю справлятися з мовними проблемами, які виникають через ускладнення або несподіваний поворот подій, які відбуваються в контексті рутинної робочої ситуації або комунікативного завдання, з яким вони знайомі;
4. використовувати діалект або акцент, зрозумілий для авіаційної спільноти.

За винятком віддалених пілотів, які продемонстрували знання мови на експертному рівні, підтвердження знання мови слід періодично переоцінювати відповідно до рівня володіння мовою. [1;2]

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

У розділі 1 ми зробили огляд дистанційно пілотованих авіаційних систем (APRS).

Цивільна авіація до цього моменту базувалася на уявленні про пілота, який керує літаком із самого повітряного судна і найчастіше з пасажирами на борту. Зняття пілота з літака викликає важливі технічні та експлуатаційні питання, масштаби яких активно вивчається авіаційною спільнотою. Багато з цих питань будуть визначені в цьому циркулярі.

Літаки з дистанційним керуванням є новим компонентом авіаційної системи, над розумінням, визначенням і остаточною інтеграцією якої працюють ІКАО, держави та аерокосмічна промисловість. Ці системи засновані на передових розробках аерокосмічних технологій, пропонуючи досягнення, які

можуть відкрити нові та вдосконалені цивільні/комерційні застосування, а також покращити безпеку та ефективність усієї цивільної авіації.

Безпечна інтеграція RPA в несегрегований повітряний простір буде довгостроковою діяльністю, в якій багато зацікавлених сторін додадуть свій досвід з таких різноманітних тем, як ліцензування та медична кваліфікація екіпажу RPA, технології виявлення та уникнення систем, частотний спектр (включаючи його захист від ненавмисне або незаконне втручання), стандарти відокремлення від інших літаків та розробка надійної нормативної бази.

## **РОЗДІЛ 2 СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИМОГ ДО МАГІСТЕРСЬКОГО ДИПЛОМА**

### **2.1 Тема магістерської роботи**

«Дослідження характеристик та компоновки БПЛА типу «Літаюче крило»»

### **2.2 Передумови магістерської роботи**

Навчальний план освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за напрямом с 6.070201 «Аеронавігація» № НМ-14-6.070102-2.11.

Наказ ректора про затвердження тематики та керівників дипломних робит № 2339/ст. від 21/10/2021.

### **2.3 Ціль та призначення дипломної роботи**

#### **2.3.1 Ціль роботи**

Ціль роботи визначити оптимальні характеристики та компонування безпілотного літального апарату виконаного за схемою літаюче крило

#### **2.3.2 Призначення роботи**

За допомогою програмного забезпечення визначити переваги аеродинамічної схеми літаюче крило над рештою схем побудови безпілотних літальних апаратів, та запропонувати найбільш оптимальні варіанти компонування зазначеного безпілотного літального апарату.

### **2.4 Вхідні дані**

1. Doc. 10019-AN/507, Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), [Text] / ICAO. First Edition- 2015.



2. ICAO Cir 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS) Order Number: CIR328 ISBN 978-92-9231-751-5

## **2.5 Оцінка наукових результатів та порядок їх реалізації**

### **2.5.1 Приблизні наукові результати**

Як результат наукового дослідження, наступні результати мають бути отримані:

Має бути запропонований оптимальний метод компоновання безпілотного літаючого апарату побудованого за схемою літаюче крило

### **2.5.2 Порядок реалізації наукових результатів**

Отримані дослідницькі результати можуть бути використані при:

Виборі аеродинамічної схеми для побудови безпілотного літального апарату.

При проектуванні безпілотного літального апарату за схемою літаюче крило, та при компоновці необхідних агрегатів у корисному об'ємі його фюзеляжа.

## **2.6 Порядок реалізації результатів наукових досліджень**

Дипломна робота повинна бути виконана відповідно до методичних вказівок та вимоги виконання магістерської роботи для студентів навчальний напрям 6.070102 Напрямок «Аеронавігація» та Держстандарт України 3973-2000 р. «СРППВ. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення (СРППВ. Умови виконання наукових досліджень. Основи.)». Робота має бути належним чином і правильно підготовлено у відповідності з вимогами до наукової роботи.

Пояснювальна записка оформлена відповідно до Держстандарту України 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки

## 2.7 Етапи роботи

Таблиця 2.1 Етапи роботи

Етапи дипломної роботи	Зміст частин	Дата		Номер частини
		Початок	Кінець	
1.Теоретичні відомості про безпілотні авіаційні системи	Загальні відомості про безпілотний літальний апарат та його компоненти	22.10.2021	24.10.2021	1.1
	Використання безпілотних літальних апаратів	25.10.2021	27.10.2021	1.2
	Ліцензування персоналу	28.10.2021	30.10.2021	1.3
3.Види сучасних БПЛА та їх використання	Класифікація БПЛА	6.11.2021	7.11.2021	3.1
	Класифікація цивільних БПЛА за призначенням	8.11.2021	8.11.2021	3.2
	Класифікація БПЛА за конструкцією	9.11.2021	9.11.2021	3.3
	БПЛА літакового типу	9.11.2021	10.11.2021	3.3.1
	Тейлсітери	10.11.2021	10.11.2021	3.3.2
	БПЛА на ефекті Коанда	11.11.2021	11.11.2021	3.3.3

	Мультироторні/ гвинтокрильні системи	12.11.2021	12.11.2021	3.3.4
	БПЛА аеростатичного типу	13.11.2021	13.11.2021	3.3.5
	Безпілотні конвертоплани та гібридні схеми	14.11.2021	14.11.2021	3.3.6
4.Моделювання та компонування БПЛА за схемою «Літаюче крило»	Історія виникнення аеродинамічної схеми «Літаюче крило»	15.11.2021	18.11.2021	4.1
	Особливості дизайну	19.11.2021	30.11.2021	4.2
	Сучасні тенденції будівництва БПЛА	1.12.2021	5.12.2021	4.3
	Використання концепції здешевлення у проектванні та виробництві БПЛА	6.12.2021	10.12.2021	4.4
	Отримання теоретичної геометрії з використанням програми FLZ Vortex	11.12.2021	14.12.2021	4.4.1

	Дослідження компонування БПЛА за схемою літаюче крило	15.12.2021	16.12.2021	4.4.2
--	--	------------	------------	-------

## РОЗДІЛ 3. ВИДИ СУЧАСНИХ БПЛА ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

### 3.1 Класифікація БПЛА

Передусім треба зазначити, що безпілотні літальні апарати поділяються на дві основні категорії: безпілотні літальні апарати цивільного призначення та військового використання. У залежності від цих категорій різняться вимоги до проектування та оснащення.

Якщо мати на увазі БПЛА у загальному розумінні, то вони класифікуються UVS International в залежності від льотної маси, часу, дальності польоту та сфери використання.

Таблиця 3.1 Класифікація БПЛА за даними UVS International

Група	Категорія	Льотна маса, кг.	Дальність польоту, км.	Висота польоту, м.	Тривалість польоту, ч.
Малі БПЛА	Нано БПЛА	< 0,025	< 1	100	< 0,5
	Мікро БПЛА	< 5	< 10	250	1
	Міні БПЛА	20 - 150	< 30	150 - 300	< 2
	Легкі БПЛА для контролю переднього краю оборони	25- 150	10 - 30	3000	2 - 4
	Легкі БПЛА з малою дальністю польоту	50 - 250	30 -70	3000	3 - 6
	Середні БПЛА	150 - 500	70 - 200	5000	6 - 10

Група	Категорія	Льотна маса, кг.	Дальність польоту, км.	Висота польоту, м.	Тривалість польоту, ч.
Тактичні	Середні БПЛА за великою тривалістю польоту	500- 1500	>500	8000	10 - 18
	Маловисотні БПЛА для проникнення вглиб оборони супротивника	250 2500	>250	50 - 9000	0,5 - 1
	Маловисотні БПЛА з високою тривалістю польоту	15 - 25	>500	3000	>24
	Середньовисотні БПЛА з великою дальністю польоту	1000- 500	> 500	5000- 8000	24 - 48
	Висотні БПЛА з великою дальністю польоту	2500- 5000	> 2000	20000	24 - 48
Стратегічні	Бойові (Ударні) БПЛА	>1000	1500	12000	2
	БПЛА оснащені бойовою частиною летальної дії	150- 1000	300	4000	3 - 4
	БПЛА – хибні цілі	150- 500	0 - 500	50 - 5000	< 4

Група	Категорія	Льотна маса, кг.	Дальність польоту, км.	Висота польоту, м.	Тривалість польоту, ч.
Спец призначення	Стратосферні БПЛА	> 2500	> 2000	> 20000	> 48
	Екзостратосферні БПЛА	> 2500	> 2000	>30500	> 48

За класифікацією NATO (STANAG 4670) безпілотні літальні апарати поділяються на три класи, в залежності від значення повної злітної маси:

Таблиця 3.2 - Класифікація БПЛА за даними НАТО.

Клас	Категорія	Рівень воєнних дій	Висота застосування	Радіус дії	Приклад платформи
Клас I	Мікро	Підрозділ	До 60 м	До 5 км	Black Widow
	Міні	Підрозділ	До 900 м	До 25 км	Skylark
	Малі	Формування	До 1500 м	До 50 км	Scan Eagle, PD-2
Клас II	Тактичні	Тактичний	До 5500 м.	До 200 км.	Hermes 450
Клас III	MALE	Оперативний	До 14000 м.	Необмежений	Bayraktar TB-2
	HALE	Стратегічний	До 20000 м.	Необмежений	Global Hawk
	Ударні	Стратегічний	До 20000 м.	Необмежений	Reaper

Також існує класифікація Департаменту оборони США, що дещо відрізняється від наведеної вище класифікації NATO. Ця класифікація приведена у документі DOD-USRM-2013 2013, р. 6.

Згідно цього документу виділяють п'ять груп UAS:

Група 1 (мікро-, міні тактичні) — від 0 до 9 кг, до 300 метрів над ґрунтом,

основний представник — «RQ-11 Raven».

Група 2 (малі тактичні) — від 9.5 до 25 кг; до 1000 метрів над ґрунтом, представник — «Scan Eagle»

Група 3 (тактичні) — менш, ніж 600 кг, представник — «RQ-7 Shadow»

Група 4 (персистентні) — більш, ніж 600 кг; представник — «MQ-1B Predator»

Група 5 (пенетрувальні) — більш, ніж 600 кг; представник — «MQ-9 Reaper»



Рис 3.1.1 RQ-11 Raven



Рис 3.1.2 Scan Eagle





Рис 3.1.3 RQ-7 Shadow



Рис 3.1.4 MQ-1 Reaper



Рис 3.1.5 MQ-9 Reaper

### 3.2 Класифікація цивільних БПЛА за призначенням.

Невійськові дрони мають застосування у розв'язуванні широкого кола завдань, виконання яких пілотованими літальними апаратами є недоцільним з різних причин.

Такими завданнями є:

- Моніторинг повітряного простору, земної та водної поверхні.
- Екологічний контроль навколишнього середовища
- Керування повітряним рухом
- Контроль судноплавства
- Розвиток систем зв'язку
- Польова логістика
- Аерофотозйомка

Можна відокремити 5 основних груп, які розрізняються за типом виконуваних функцій:

Моніторинг - (спостереження за станом інфраструктури та протяжних об'єктів; патрулювання різних зон і об'єктів; спостереження за рухом на

залізничних і шосейних шляхах; контроль судноплавства; спостереження за сільськогосподарськими культурами; пошук корисних копалин за допомогою спецзасобів зондування; спостереження за метеорологічними явищами; моніторинг небезпечних природних явищ (лісових пожеж, землетрусів, оповзнів); оцінка результатів стихійних лих і ліквідації їх наслідків; спостереження за дикими тваринами в заповідниках та заказниках)

Презентації, розваги, реклама, творчість (знімання об'єктів природи, архітектури, бізнесу, масових заходів; використання БПЛА як носіїв реклами, з навчальною метою, як арт-об'єкта або об'єкта розваги, так звані «Шоу дронів»)

Доставляння вантажів - (пошти, інструментів і матеріалів на будівництво; ремонтні роботи, дозаправлення/підзарядка на важкодоступних об'єктах і віддалених автономних приладах (метеостанції, маяки тощо); використання у кості пожежного обладнання для підйому пожежників до місця горіння; розпорошення хімікатів та внесення добрив на полях; підтримка продуктами, пальник, запчастинами тощо альпіністів, туристів, експедицій; евакуаційні заходи)

Ретрансляція сигналів - (передача радіосигналів з метою збільшити дальність дії каналів зв'язку; БПЛА як ретранслятор сигналу для інших БПЛА ;БПЛА як носій освітлювального обладнання, гучномовця; БПЛА як майданчик для генерування або відбивання лазерного променя)

Керування поведінкою живих об'єктів («пастух» для отар вівець, табунів коней, тощо; відлякування зграй птахів від аеродромів)

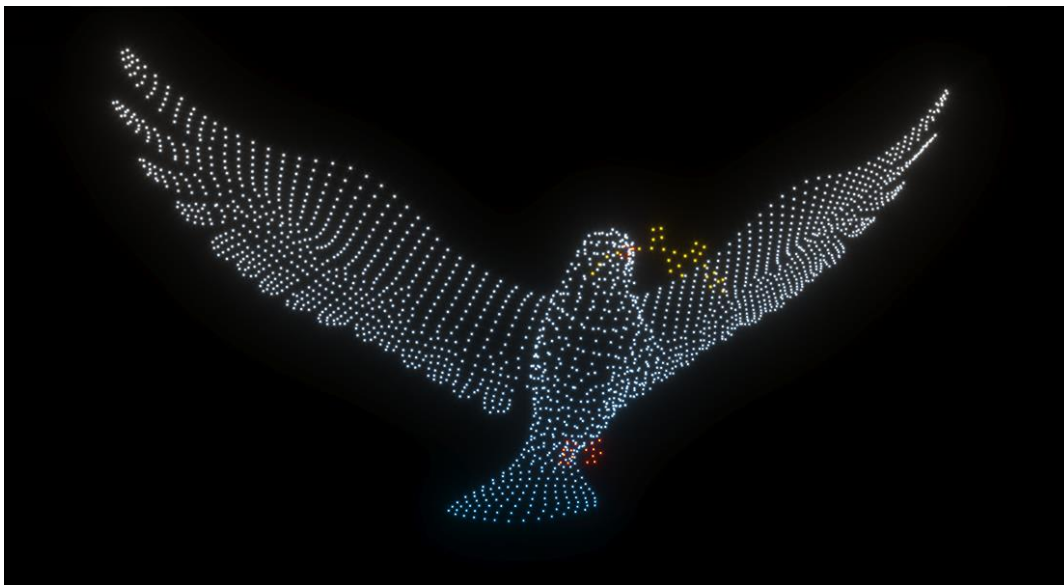


Рис 3.2.1 Шоу Дронів.



Рис 3.2.2 Вантажний дрон.

### **3.3 Класифікація БПЛА за конструкцією.**

Як відомо, на сьогоднішній день існує велика кількість типів БПЛА, різної конструкції, призначені для безлічі різних завдань.

У цьому розділі ми розглянемо найвідоміші з них, які набули найбільшої популярності та довели свої переваги щодо інших типів.

Розрізняють такі типи БПЛА, що відрізняються конструкцією та принципом роботи, зльоту/посадки та призначення:

1. БПЛА літакового типу
2. Мультироторні БПЛА
3. БПЛА аеростатичного типу
4. Безпілотні конвертоплани та гібридні моделі

### 3.3.1 БПЛА літакового типу.

Такий тип апаратів відомий також як БПЛА з жорстким крилом (англ. fixed-wing UAV). Підйомна сила у них створюється аеродинамічний спосіб за рахунок напору повітря, що набігає на нерухоме крило. Апарати такого типу, як правило, відрізняються великою тривалістю польоту, великою максимальною висотою польоту та високою швидкістю.

Існує велика різноманітність підтипів БПЛА літакового типу, що різняться формою крила і фюзеляжу. Практично всі схеми компонування літака і типи фюзеляжів, які зустрічаються в пілотованій авіації, можна застосувати і в безпілотній.

На Рис 3.3.1 показаний експериментальний багатоцільовий літак Proteus розробки американської компанії Scaled Composites.



Рис 3.3.1 Proteus.

Розроблено як пілотований, так і безпілотний варіанти цього літака. Особливістю конструкції є тандемна схема розташування крил. Його довжина



становить 17,1 м, розмах задніх крил 28 м, стеля висоти 16 км (при навантаженні 3,2 т), злітна вага 5,6 т, максимальна швидкість 520 км/год (на висоті 10 км), тривалість польоту до 18 год. Силова установка – два турбореактивні двигуни з тягою по 10,2 кН.

На рис 3.3.2 показаний розвідувальний БПЛА RQ-4 Global Hawk, розроблений американською фірмою Teledyne Ryan Aeronautical, дочірнім підприємством компанії Northrop Grumman. Він відрізняється незвичайною формою фюзеляжу, в носовій частині якого розміщено радіолокаційне, оптичне та зв'язне обладнання. Апарат виготовлений із композитних матеріалів на основі вуглеродного волокна та алюмінієвих сплавів, має довжину 13,5 м, розмах крил 35 м, злітну масу близько 15 т, здатний нести корисне навантаження масою до 900 кг. RQ-4 Global Hawk може бути в повітрі до 30 годин на висоті до 18 км. Максимальна швидкість 640 км/год. Силова установка – турбореактивний двигун із тяговим зусиллям 34,5 кН.



Рис 3.3.2 БПЛА RQ-4 Global Hawk

На Рис 3.3.3 показаний перспективний бойовий палубний БПЛА X-47B, що розробляється компанією Northrop Grumman (США). Він має форму широко вигнутої літери "V" без хвостової частини.



Рис 3.3.3 БПЛА X-47B

Крила можуть складатися, що важливо для обмеженої площі палуби авіаносця. Для управління польотом БПЛА оснащений 6-ма робочими поверхнями. Турбореактивний двигун канадської фірми Pratt&Whitney розташований у задній частині апарату забезпечує високу швидкість польоту безпілотного апарату. Безпілотник складається з чотирьох частин, зібраних з композитних матеріалів, що з'єднуються приблизно в середині корпусу. Літак має довжину 11,6 м, розмах крил 18,9 м (у складеному стані 9,4 м), власну масу 6,3 т, максимальну злітну масу 20,2 т. Крейсерська швидкість становить 900 км/год. Радіус дії 3900 км. Стеля 12,2 км. Імовірно, апарат буде пристосований для виконання дозаправки в повітрі. При цьому БПЛА буде готовий при необхідності безперервно виконувати поставлене бойове завдання протягом 80 годин, що значно більше за тривалість польоту бойових літаків з пілотами.

Як двигуни апаратів літакового типу зазвичай використовуються тягучі або штовхаючі гвинти, а також імпелери (лопаткові машини, укладені в циліндричний кожух - англ.: *impeller, ducted fan, shrouded propeller*) або реактивні двигуни.

Для апаратів літакового типу зазвичай необхідна злітно-посадкова смуга (ВПП) або стартові катапульти (Рис 3.3.4). Існують також літакові БПЛА легкого класу, що запускаються «з руки». При посадці може застосовуватися ЗПС, парашут або спеціальні уловлювачі (троси, сітки або розтяжки)



Рис 3.3.4 Стартова катапульта

Злети та посадки традиційних БПЛА літакового типу – процес досить трудомісткий та витратний, що вимагає наявності спеціальних допоміжних засобів (ЗПС, пристроїв запуску та посадки), тому розробники нової техніки все частіше звертаються до нетрадиційних схем літакових БПЛА, що дозволяють створити безаеродромні безпілотні системи. Йдеться насамперед про літаки вертикального зльоту та посадки (ЛВВП/VTOL). На сьогоднішній день існує багато різновидів апаратів ВВП. Багато хто з них є гібридами літаків і гелікоптерів, і розглянуті в наступному розділі. Ті ж ЛВВП, яким більш властиві властивості літака, ніж гелікоптера, зазвичай мають як рушій реактивний двигун, імпелер або невеликі за розміром пропелери. Їх умовно можна розділити за становищем фюзеляжу при зльоті та посадці на апарати з вертикальним положенням фюзеляжу (тейлсіттери, від англ. – tailsitter) та горизонтальним положенням фюзеляжу.

### 3.3.2 Тейлсіттери

Тейлсіттери у стартовому положенні зазвичай спираються хвостовою частиною на ґрунт. Якщо як рушій використовуються гвинти, що тягнуть, то вони розташовуються в носовій частині. Посадка, як і зліт, таких апаратів зазвичай проводиться вертикально. Найскладніше для ЛВВП – це перехід із



вертикальної фази польоту на горизонтальну та назад. У показаного на Рис 3.3.5 БПЛА SkyTote, наприклад, для керування польотом у цих фазах використовується навіть спеціальний нейромережевий контролер.



Рис 3.3.5 БПЛА SkyTote

### **3.3.3 БПЛА на ефекті Коанда**

Існує особливий вид БПЛА - апарат з жорстким парасольковим крилом, заснованих на ефект Коанда. Хоча ці апарати мало схожі на літаки, за принципом польоту вони все ж таки найбільше відповідають цій класифікаційній групі.



Рис 3.3.6 БПЛА на Ефекті Коанда.

Ефект Коанда – фізичне явище, назване так, тому що в 1932 році румунський вчений Анрі Коанда виявив, що потік рідини або газу прагне відхилитися до стінки тіла з криволінійною поверхнею і за певних умов прилипає до неї, замість того, щоб продовжувати рух у початковому напрямі. Дія ефекту Коанди проявляється тоді, коли подача шару повітря поверхню виробляється через вузьку щілину. Цей тонкий швидкісний шар захоплює навколишнє повітря.

У результаті створюється т.зв. струмінь, що настає – напівобмежений струмінь, який завжди розвивається тільки вздовж поверхні огорожі. Дальність поширення струму, що настає, збільшується приблизно в 1,2 рази в порівнянні зі стисненим струменем (тобто струменем, обмеженим з усіх боків, як у трубі). Таким чином, струмінь, що настається на поверхню, має більшу далекобійність за інших однакових умов, ніж ненастилаючий.

Літальний апарат на ефекті Коанда (Рис 3.3.6) влаштований досить просто: над парасольковою поверхнею встановлений вентилятор або реактивний двигун, що створює потік повітря, що виходить через вузьку щілину і настає криволінійну поверхню.

Такий апарат має перевагу при використанні в порівнянні зі звичайними гелікоптерами в міських умовах, лісистій та гірській місцевості, де велика ймовірність пошкодження гвинта гелікоптера.

### 3.3.4 Мультироторні (гвинтокрильні) системи.

Одним із найбільш масових БПЛА є мультикоптер. До цієї групи відносяться БПЛА, що мають більше двох несучих гвинтів. Реактивні моменти врівноважуються за рахунок обертання гвинтів, що несуть, попарно в різні боки або нахилу вектора тяги кожного гвинта в потрібному напрямку. Безпілотні мультикоптери, як правило, відносяться до класів міні- та мікро-БПЛА.

Основне призначення мультикоптерів – це фото- та відеозйомка різних об'єктів, тому вони, як правило, оснащуються керованими підвісами для камер. Мультикоптери також використовуються як пристрої для оперативного моніторингу ситуації, проведення сільськогосподарських робіт (наприклад, обприскування), для доставки вантажів невеликої ваги.

Трикоптер - найпростіша схема побудови мультикоптерів. Зазвичай трикоптер рухається двома гвинтами вперед, а третій хвостовий. Перші два гвинти мають протилежні напрямки обертання і взаємно компенсують реактивні моменти, що закручують, у хвостового ж гвинта пари немає, тому для компенсації його реактивного моменту вісь обертання цього гвинта трохи нахилиють у бік, протилежну напрямку закручування.

Це роблять за допомогою спеціального сервоприводу та тяги, які використовуються для стабілізації або керування положенням апарату за курсом.



Рис 3.3.7 Приклад Трикоптера.

Квадрокоптер – найпоширеніша схема побудови мультикоптерів. Наявність чотирьох жорстко зафіксованих роторів дозволяє організувати досить просту

схему організації руху. Існують дві такі схеми руху: схема "+" та схема "x". У першому випадку один із роторів є переднім, протилежний йому – заднім, і два ротори є бічними. У схемі «x» передніми є одночасно два ротори, два інших є задніми, а зміщення у бічному напрямку також реалізуються одночасно парою відповідних роторів (Рис 3.3.8) Алгоритм управління частотами обертання гвинтів для схеми "+" дещо простіше і зрозуміліше, ніж для схеми "x", проте остання використовується все ж таки частіше через конструктивні переваги: при такій схемі простіше розмістити фюзеляж, який може мати витягнуту форму, бортова відеокамера має вільніший огляд.



Рис 3.3.8 Приклад квадрокоптера

Гексакоптери і октокоптери, що мають відповідно по 6 (Рис 3.3.9) і 8 (Рис 3.3.10) моторів мають набагато більшу вантажопідйомність порівняно з квадрокоптерами. Вони також здатні зберігати стійкий політ при виході з експлуатації одного двигуна. Такі апарати відрізняються набагато меншим рівнем вібрацій, що особливо важливо для відеозйомки.



Рис 3.3.9 Приклад гексакоптера



Рис 3.3.10 Приклад октокоптера

### 3.3.5 БПЛА аеростатичного типу

БПЛА аеростатичного типу (blimps) – це особливий клас БПЛА, в якому підйомна сила створюється переважно за рахунок архімедової сили, що діє на балон, наповнений легким газом (як правило, гелієм). Цей клас представлений переважно безпілотними дирижаблями. Рис 3.3.11.

Дирижабль (від фр. dirigéable – керований) – літальний апарат легший за повітря, що є комбінацією аеростата з рушієм (зазвичай це гвинт (пропелер, імPELLер) з електричним двигуном або ДВС) та системи управління орієнтацією

завдяки якій дирижабль може рухатися в будь-якому напрямку незалежно від напрямки повітряних потоків.

Відмінна перевага дирижабля – велика вантажопідйомність та дальність безпосадкових польотів. Досягні більш висока надійність та безпека, ніж у літаків та вертольотів. (Навіть у найбільших катастрофах дирижаблі показали високу виживання людей.) Менша, ніж у вертольотів, питома витрата палива і, як наслідок, менша вартість польоту в розрахунку на одиницю маси вантажу, що перевозиться. Розміри його внутрішніх приміщень може бути дуже великі, а тривалість перебування у повітрі може вимірюватися тижнями. Дирижаблю не потрібно злітно-посадкової смуги (але потрібна причальна щогла) — більше того, він може взагалі не приземлятися, а просто «зависнути» над землею (що, втім, можна здійснити лише за відсутності сильного бічного вітру).

Найбільш типові застосування сучасних безпілотних дирижаблів – це реклама та відеоспостереження. (Проте в останні роки їх все частіше замовляють телекомунікаційні компанії для використання як ретранслятори сигналів. Існують також проекти будівництва дирижаблів великої вантажопідйомності – 200-500 тон.



Рис 3.3.11 – Беспілотний дирижабль

### 3.3.6 Безпілотні конвертоплани та гібридні схеми

Гібридні гвинтокрилі апарати – автожири та конвертоплани. Крім розглянутих класів апаратів літакового та мультироторного типу існують їх гібридні різновиди, такі як автожири та конвертоплани, які мають деякі ознаки як гелікоптерів, так і літаків.

Автожир (інші назви: гірокоптер, гіроплан, ротаплан, англомовні: autogiro, gyrocoper, gyroplane, rotorplane) – схема, подібна до літака, у якого як крило (або на додаток до нього) встановлений гвинт, що вільно обертається

Як і вертольоту, автожиру несучий гвинт необхідний створення підйомної сили, проте створення підйомної сили основним гвинтом автожиру засновано іншому принципі. Він створює віртуальну дискову поверхню, при набіганні на яку зустрічного потоку повітря створюється. підйомна сила. Тут суттєво, що в польоті цей гвинт нахилений назад, проти потоку – подібно до фіксованого крила з позитивним кутом атаки (вертоліт, навпаки, нахиляє гвинт у бік руху, т.к. створює приводним гвинтом, що несе, і підйомну, і горизонтальну пропульсивну сили одночасно). Крім несучого ротора, автожир має ще й маршовий гвинт (пропелер), що тягне або штовхає, як і у звичайного літака. Цей маршовий гвинт повідомляє автожиру горизонтальну швидкість.

Швидкість автожиру можна порівняти зі швидкістю легкого вертольота і трохи поступається легкому літаку. За витратою палива вони поступаються літакам, технічна собівартість льотної години автожиру в кілька разів менша, ніж у вертольота, через відсутність складної трансмісії. Типові автожири літають зі швидкістю до 180 км/год, а витрата палива становить 15 л на 100 км при швидкості 120 км/год. Іншими перевагами автожирів є набагато менша, ніж у вертольотах, вібрація, а також здатність літати за значного (до 20 м/с) вітру. Нині автожири виробляються й у безпілотному виконанні фірмами різних країн. Призначення їх найрізноманітніше. Так, російська компанія "Ростехресурс" (м. Воронеж) розробила безпілотний автожир "Хімік" для сільськогосподарських робіт - запилення посадок хімікатами.





Рис 3.3.12 Безпілотний автожир

Конвертоплан (англ. convertoplane, heliplane) - літальний апарат з поворотними гвинтами, які на зльоті і при посадці працюють як підйомні, а в горизонтальному польоті - як тягуть (при цьому в польоті підйомна сила забезпечується крилом літакового типу). Таким чином, цей апарат веде себе як вертоліт при зльоті та посадці, але як літак у горизонтальному польоті. Великі гвинти конвертоплана допомагають йому при вертикальному зльоті, однак у горизонтальному польоті вони стають менш ефективними порівняно з гвинтами меншого діаметра традиційного літака.

Серед конвертопланів можна виділити три підкласи, що принципово відрізняються: апарати з поворотними гвинтами (Tiltrotor), з поворотним крилом (Tiltwing) і з вільним крилом (Freewing).

У конвертопланах з поворотними роторами зазвичай поворотними є не самі гвинти, а гондоли з гвинтами і двигунами. Крила (зазвичай невеликі площі) у своїй залишаються нерухомими. На рис 3.3.13 наведено приклад безпілотного конвертоплану типу Tiltrotor.

У конвертопланах із вільним крилом (Freewing) залежно від фази польоту відхиляються гвинти, створюючи вертикальну або горизонтальну тягу, а крила вільно обертаються навколо вісі, перпендикулярної фюзеляжу.





Рис 3.3.13 Конвертоплан типу Tiltrotor

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У розділі 3 було подану класифікацію безпілотних літальних апаратів за різними показниками, серед яких:

1. Зльотна маса
2. Час польоту
3. Дальність польоту
4. Висота польоту

Були наведені класифікації безпілотних літальних апаратів за даними NATO (STANAG 4670) та UVS International. Можна визначити, що усі вищезазначені класифікації базуються на основних базових параметрах. На основі цих даних може бути створена узагальнена класифікація на ознаковій основі може бути використана в розробках, що стосуються БЛА, як в Україні, так і за її межами.

Також, ми розглянули класифікацію безпілотних літальних апаратів за

конструкцією. Визначили конструктивні та експлуатаційні особливості безпілотних літальних апаратів за схемами: БПЛА з фіксованим крилом, або літакового типу, тейлсітер, БПЛА аеростатичного типу, БПЛА на ефекті Коанда, БПЛА мультикоптерної системи, БПЛА гібридної системи та конвертоплани.

На підставі цих даних можна зазначити. Що найбільш поширеними є БПЛА літакового типу, та мультикоптери. У подальшому ми будемо детальніше розглядати БПЛА літакового типу, як найбільше гнучку платформу для виконання широкого спектру завдань.

## РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМПОНУВАННЯ БПЛА ЗА СХЕМОЮ ЛІТАЮЧЕ КРИЛО

### 4.1 Історія виникнення аеродинамічної схеми «Літаюче крило»

"Літаюче крило" - різновид аеродинамічної схеми планера літака типу "безхвостка" з редукованим фюзеляжем, роль якого грає крило, що несе всі агрегати, екіпаж і корисне навантаження.

Спроби втілити в життя подібну схему мали місце ще сторіччя тому: вже у 1922 році в Радянському Союзі Борис Черановський конструював легкі планери за схемою «Літаюче крило».

У 1930—1940 роках авіаконструктором Нікітіним розроблявся легкий торпедоносець-планер спеціального призначення ПСН-1 і ПСН-2 типу «літаюче крило» у двох варіантах: пілотований тренувальний-пристрілювальний та безпілотний з повною автоматикою.

У нацистській Німеччині до Другої світової війни та під час її зі схемою «літаюче крило» працювали брати Хортен. Ними були спроектовані та побудовані кілька експериментальних планерів та літаків різного призначення. Зокрема, за програмою «1000\*1000\*1000» (доставка 1000 кілограмів бомб на 1000 кілометрів зі швидкістю 1000 км/год) з 1943 року розроблявся і проходив дослідну експлуатацію перший у світі великий літак схеми «літаюче крило» — винищувач Ho-229 з реактивними двигунами

У повоєнній Аргентині конструюванням і будівництвом планерів і легких та середніх літаків типу «літаюче крило» займалися на фірмі FMA брати Хортени, що залишили Німеччину, — Вальтер і Реймар. Побудовані в одиничних екземплярах, випробовувалися:

1. FMA I.Ae. 34 Clen Antú
2. FMA I.Ae. 37 Ala Delta
3. FMA I.Ae. 38 Naranjero

#### 4. FMA I.Ae. 41 Urubú



Рис 4.1.1 Horten Ho-229 (Go-229)

У США фірма Northrop займалася літаками за схемою "літаюче крило" з 1930-х років. Джон Нортроп - засновник фірми Northrop - був великим ентузіастом цієї конструктивної схеми і намагався проводити її в проектах, де аеродинамічна схема залишалася на розсуд розробника. Так, він вдався до схеми «літаючого крила» розробки прототипу Northrop N-1M 1941 року і перспективного винищувача P-56 Black Bullet під час війни.

Першим був створений і почав проходити випробування в 1946 далекий важкий бомбардувальник XB-35, програма якого була закрита після того, як в 1949 розбили всі літаючі прототипи. На базі qjuj в 1947 році був створений новий бомбардувальник Northrop YB-49, для якого три передсерійні машини XB-35 були переобладнані під реактивні двигуни Allison J35-A-5 тягою 1814 кгс. Випробувальні польоти тривали протягом 1950-х років, хоча програма B-49 була закрита.

Досвід, отриманий внаслідок розробок цих літаків, був розвинений лише через кілька десятиліть, у поєднанні з комплексною програмою зниження радіолокаційної та інфрачервоної помітності (стелс-технології). Компаній Lockheed на базі зробленого в 1977-1978 роках експериментального прототипу Have Blue був створений перший сучасний серійний літак зі схемою "літаюче крило" і технологіями стелс - ударний винищувач F-117 Nighthawk, який

розпочав польоти з 1981 року. конфліктів, вироблявся до 1990 року та був знятий з озброєння у 2008 році.



Рис 4.1.2 Northrop XB-35



Рис 4.1.3 F-117 Nighthawk

Далі знову компанією Northrop був створений важкий стратегічний бомбардувальник зі схемою «літаюче крило» і стелс-технологіями B-2 Spirit, який став найдорожчим літаком за історію авіації, почав здійснювати польоти з 1989 року і продовжує перебувати в ладі, хоча виробництво було припинено.

1999 року.

Boeing/Lockheed Martin і Northrop розробляють проекти менш дорогого ніж B-2 далекого стратегічного стелс-бомбардувальника схеми «літаюче крило» B-3 (NGB – Next-Generation Bomber, 2018 Bomber, LRS-B – Long Range Strike Bomber) та Northrop B -21 Raider для озброєння після 2025 року.

Трикутну схему «літаюче крило» має, ймовірно, стоячи на озброєнні США з кінця 1990-х років суворо засекречений гіперзвуковий стратегічний стелс-розвідник SR-91 Aurora.

Різновиди "літаючого крила" були реалізовані в БПЛА Boeing X-48 та інших проектах.

У Китаї компанією Xi'an Aircraft Industrial Corporation розробляється далекий стратегічний стелс-бомбардувальник Xian H-20, прототип якого став другим сучасним важким літаком схеми «літаюче крило» і почав польоти в 2013 році з перспективою стати до 2025 року.



Рис 4.1.4 Xian H-20

У Росії ОКБ Туполева розробляє важкий далекий стратегічний бомбардувальник схеми «літаюче крило» зі стелс-технологіями ПАК ТАК, який має випробовуватись після 2025 року.

Також розроблено дослідний зразок ударного БПЛА С-70 «Мисливець». Випробування проводяться з 2018 року. А 27 вересня 2019 року він здійснив



спільний політ із винищувачем 5-го покоління Су-57. Планується ввести в експлуатацію 2020-го року, а серійне виробництво — 2024-го.



Рис 4.1.5 БПЛА Мисливець

## 4.2 Особливості дизайну

Чисте літаюче крило іноді представляється теоретично найбільш аеродинамічно ефективною (з найнижчим опором) конфігурацією для літака з нерухомим крилом. Воно також забезпечить високу структурну ефективність для заданої глибини крила, що призведе до малої ваги та високої паливної ефективності.

Оскільки йому не вистачає звичайних стабілізуючих поверхонь і пов'язаних з ними керуючих поверхонь, у його найчистішому вигляді літаюче крило страждає від невід'ємних недоліків: нестабільне та важке для керування. Ці компроміси важко узгодити, і зусилля, спрямовані на це, можуть зменшити або навіть звести нанівець очікувані переваги конструкції літаючого крила, такі як зниження ваги та опору. Більше того, рішення можуть створити остаточний дизайн, який все ще є занадто небезпечним для певних видів використання, наприклад комерційної авіації.

Подальші труднощі виникають через проблему розміщення пілота, двигунів, льотного обладнання та корисного вантажу в межах глибини секції

крила. Інші відомі проблеми з конструкцією літаючого крила стосуються тангажу та рискання. Питання тангажу обговорюються в статті про безхвостий літак.

Проблеми рискання розглядаються нижче.

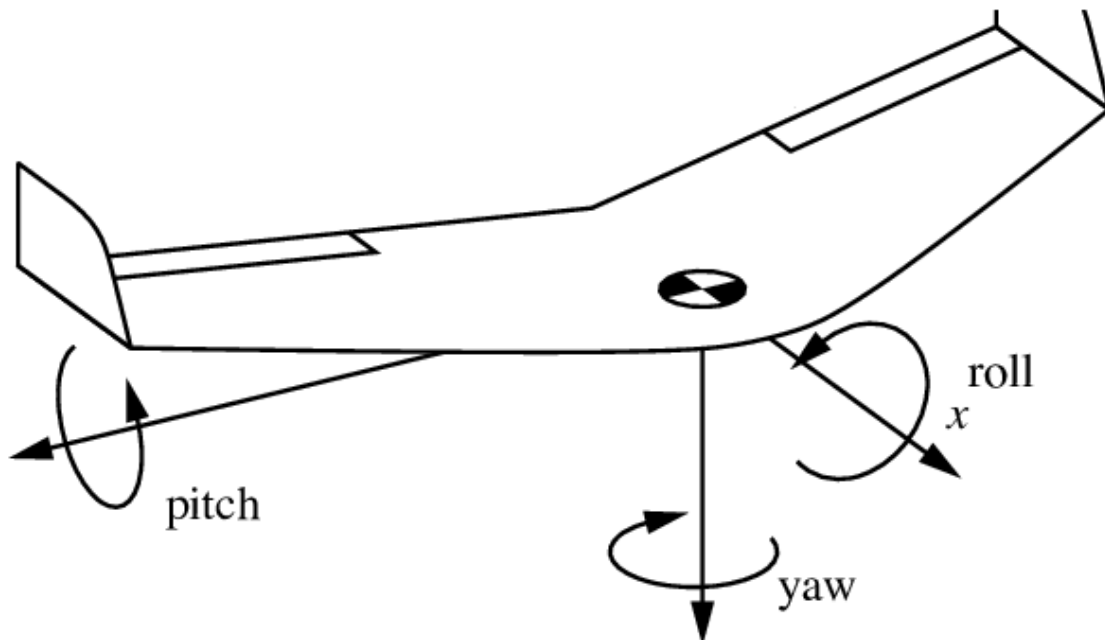


Рис 4.2.1 Схема ступенів свободи для літаючого крила

Крило, яке зроблено досить глибоко, щоб вмістити пілота, двигуни, паливо, ходову частину та інше необхідне обладнання, матиме збільшену лобову площу в порівнянні зі звичайним крилом і довгим тонким фюзеляжем. Це може фактично призвести до більшого опору та, отже, до меншої ефективності, ніж у звичайної конструкції. Як правило, рішення, прийняте в цьому випадку, полягає в тому, щоб крило залишалось досить тонким, а потім літак був оснащений різноманітними блістерами, капсулами, гондолами, плавниками тощо, щоб задовольнити всі потреби реального літака.

Проблема стає більш гострою на надзвукових швидкостях, коли опір товстого крила різко зростає і важливо, щоб крило було тонким. Жодного надзвукового літаючого крила ніколи не було створено.

Для того, щоб будь-який літак міг літати без постійної корекції, він повинен мати курсову стійкість на рисканні.



У літаючих крил не вистачає місця, щоб прикріпити ефективний вертикальний стабілізатор або плавник. Будь-яке ребра має прикріплюватися безпосередньо до задньої частини крила, надаючи невеликий момент плечей від аеродинамічного центру, що, у свою чергу, означає, що ребра неефективні, а площа плавників повинна бути великою. Такий великий плавник має великий вплив на розподілення ваги та опору, а також може звести нанівець переваги літаючого крила. Проблему можна звести до мінімуму, збільшивши стріловидність крила та розташувавши подвійні плавники поза бортом біля кінчиків, як, наприклад, у дельта-крила з низьким співвідношенням сторін, але враховуючи відповідне зниження ефективності, багато літаючих крил мають меншу стріловидність і, отже, мають, в кращому випадку, граничну стабільність.

Додатковий підхід використовує диференціальне скручування або розмивання разом із планом крила зі стріловидною назад і відповідною секцією аеродинамічного профілю. Прандтль, Панконін та інші виявили, що змив був основоположним для стабільності за рисканням льотних крил братів Хортен у 1930-х і 1940-х роках. При звичайній еліптичній підйомній силі елевон, що спускається вниз, викликає підвищене індукційне опору, що змушує літак відхилятися від повороту («несприятливе рискання»). Хортени описали «дзвоноподібний розподіл підйомної сили» по всьому розмаху крила з більшою підйомною силою в центральній частині та нульовою підйомною силою на кінчиках, що обумовлено їх негативним кутом падіння від екстремального розмивання. Відновлення зовнішньої підйомної сили елевоном створює невелику наведену тягу для задньої (зовнішньої) частини крила під час повороту. Цей вектор, по суті, тягне заднє крило вперед, щоб викликати «поворотний ривок», створюючи природно скоординований поворот. Хоча Реймар Хортен ніколи не довів існування перевіреного рискання, зрештою це було підтверджено безхвостим демонстратором PRANDTL-D на базі Hortex-Xc NASA.

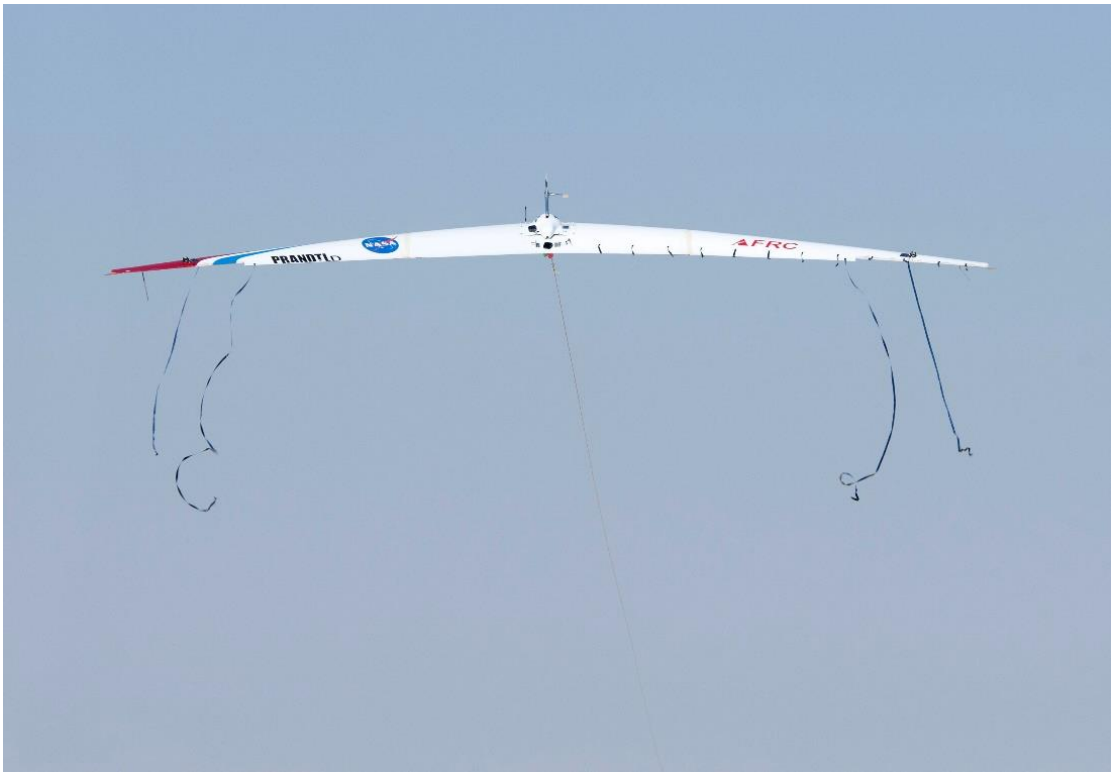


Рис 4.2.2 PRANDTL flying wing demonstrator

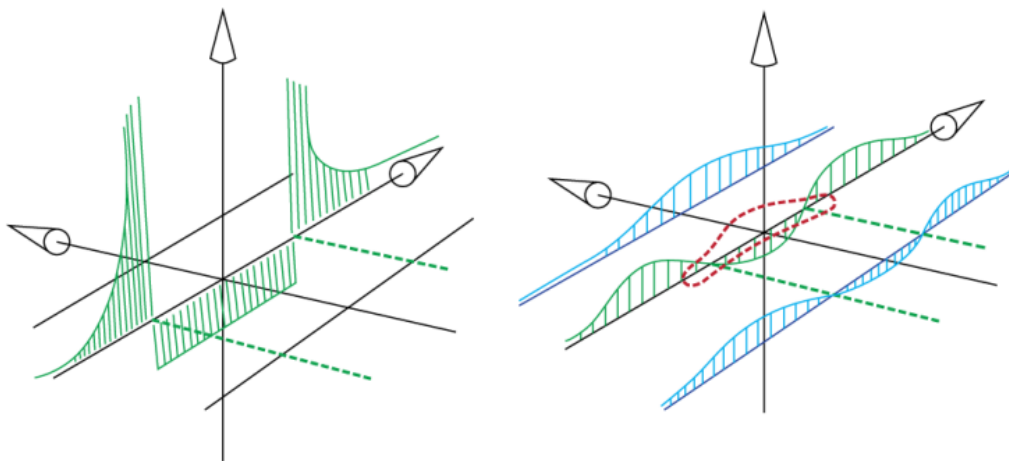


Рис 4.2.3 Розподілення підйомної сили (PRANDTL)

У деяких конструкціях літаючих крил будь-які стабілізаційні ребра та пов'язані з ними рулі управління були б винесені занадто далеко, щоб мати значний ефект, тому іноді надаються альтернативні засоби для контролю ризику.

Одним із рішень проблеми керування є диференціальний опір: опір біля однієї вершини крила штучно збільшується, що змушує літак відхилитися в напрямку цього крила. Типові методи включають:

1. Роздільні елерони. Верхня поверхня рухається вгору, а нижня —

вниз. Розщеплення елеронів на одній стороні викликає ривкання, створюючи ефект диференціального повітряного гальма.

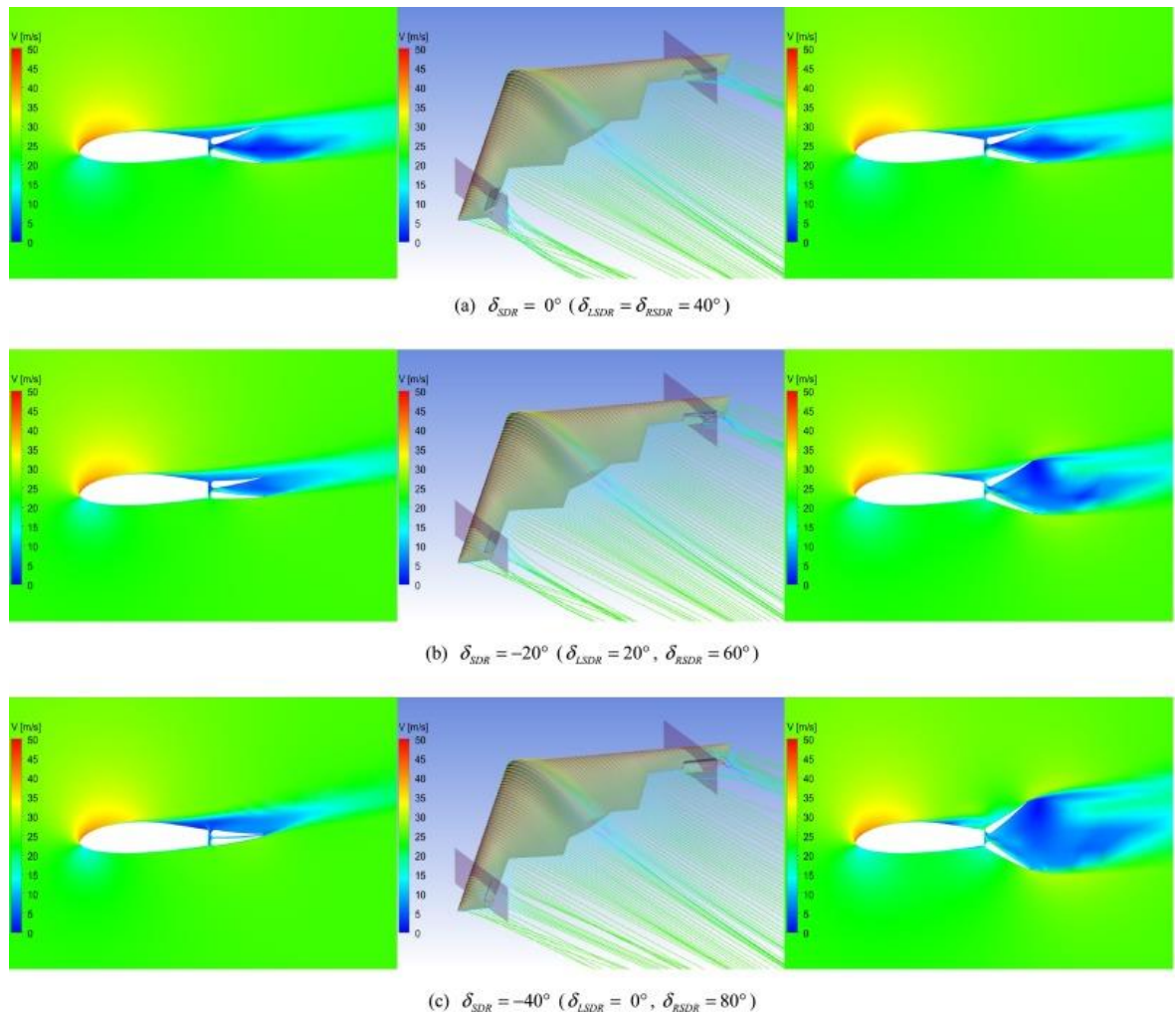


Рис 4.2.4 Роздільні елерони

2. Спойлери. Поверхня спойлера у верхній обшивці крила піднята, щоб порушити потік повітря та збільшити опір. Цей ефект зазвичай супроводжується втратою підйомної сили, яку повинен компенсувати пілот або складні конструктивні особливості.

3. Спойлерони. Спойлер верхньої поверхні, який також зменшує підйомну силу (еквівалентно відхиленню елерона вгору), тому змушуючи літак кренитися в напрямку повороту — кут нахилу змушує підйомну силу крила діяти в напрямку повороту, зменшуючи величина опору, необхідна для повороту поздовжньої осі літака.



Рис 4.2.5 Спойлери

Наслідком методу диференціального опору є те, що якщо літак часто маневрує, він часто створюватиме опір. Таким чином, літаючі крила найкраще підходять під час польоту в нерухомому повітрі: у турбулентному повітрі або при зміні курсу літак може бути менш ефективним, ніж звичайна конструкція.

### **4.3 Сучасні тенденції будування БПЛА**

На даний час існує доволі обмежена кількість методів виробництва безпілотних літальних апаратів, насамперед це пов'язано з тим, що більшість з них виконується з композиційних матеріалів.

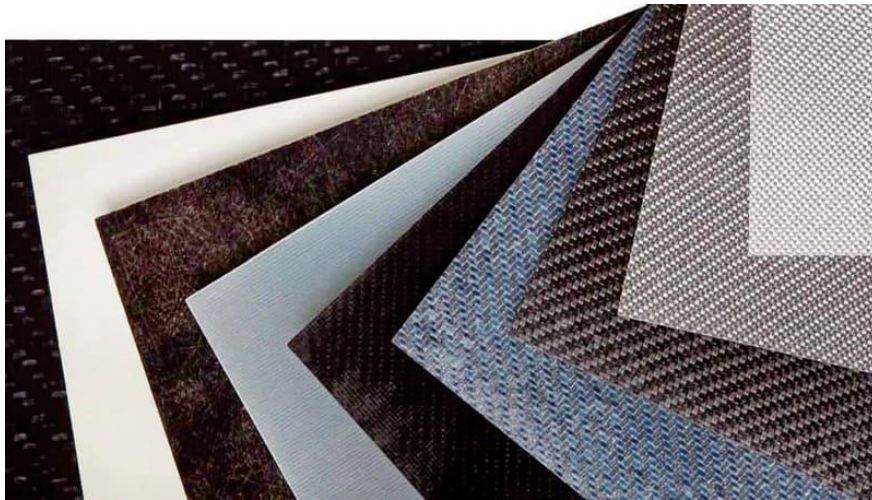


Рис 4.3.1 Композиційні матеріали

Загальним способом виготовлення фюзеляжу безпілотного літального апарату з композиційних матеріалів є так зване формування у матриці. По цій технології, спочатку треба виготовити повнорозмірні матриці для кожної з деталей безпілотника, обкласти їх композитним матеріалом (Вуглеволокно, або скловолокно), потім викладені листи просочують спеціальними полімерами та/або клеями, та висушують, для отримання деталей з питомою геометрією та характеристиками.

В той же час, крила для таких безпілотних літальних апаратів виготовляються дещо за іншою технологією.

По-перше для крила формується об'ємне ядро, з суцільного, легкого матеріалу, до нього додається композитний лонжерон, який несе на собі основне навантаження, потім, увесь цей набір обертається декількома шарами композитного матеріалу, та просочується полімерами. У результаті ми отримуємо нерозбірне доволі жорстке та легке крило, за питомими характеристиками.

Проте, цей спосіб має доволі істотні недоліки, по-перше ціна безпілотних літальних апаратів виготовлених за такими технологіями доволі висока, по-друге при використанні подібної технології на виробництві висуваються доволі високі вимоги до виробничого персоналу, по-третє використовувані у виробництві матеріали є доволі небезпечними як для людини, так і для навколишнього середовища.



У зв'язку з цими, та іншими факторами постала необхідність створення безпілотних літальних апаратів з більш дешевих матеріалів, та спрощеної конструкції для виконання різноманітних завдань.

У 2018 році компанія Logistic Gliders запатентувала оригінальну конструкцію безпілотного планера, а до теперішнього часу вивела на тестування два типи техніки за різними параметрами.

Компанія Logistic Gliders пропонує замовнику два варіанти БПЛА під назвами LG-1К та LG-2К. Перший проект розроблявся за участю фахівців Marine Corps Warfighting Laboratory, другий у співпраці з DARPA. При цьому в основі обох розробок лежать ті самі рішення.

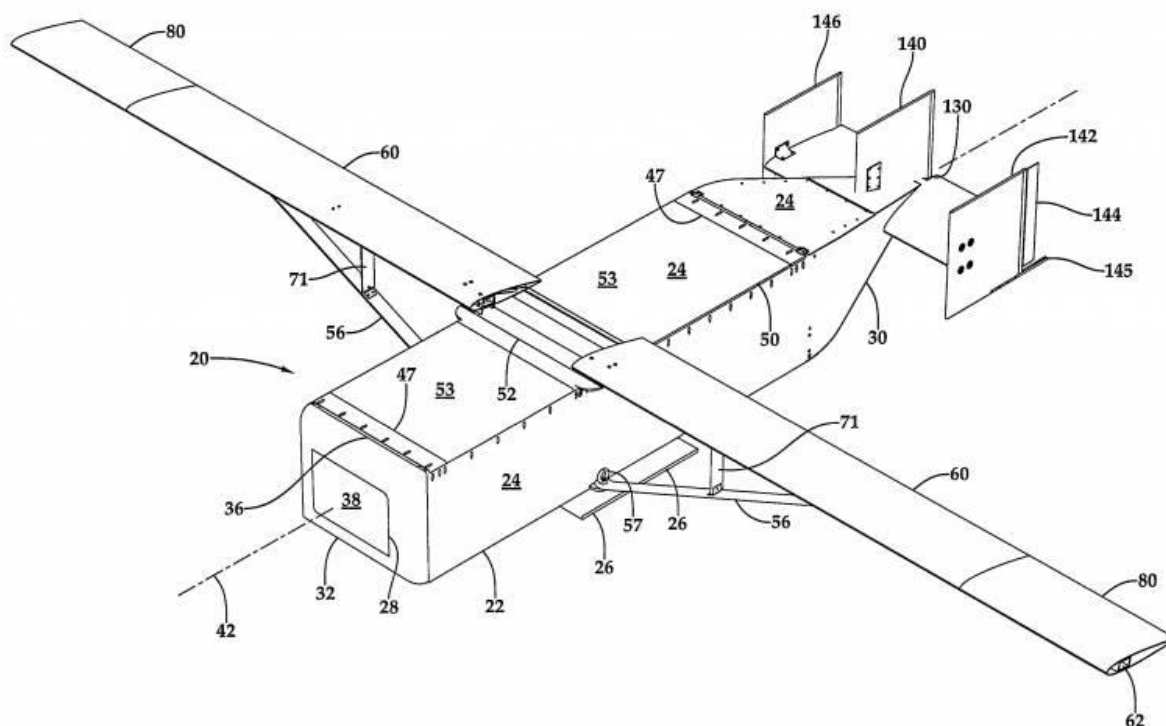


Рис 4.3.2 Схема безпілотнику компанії Logistics Gliders

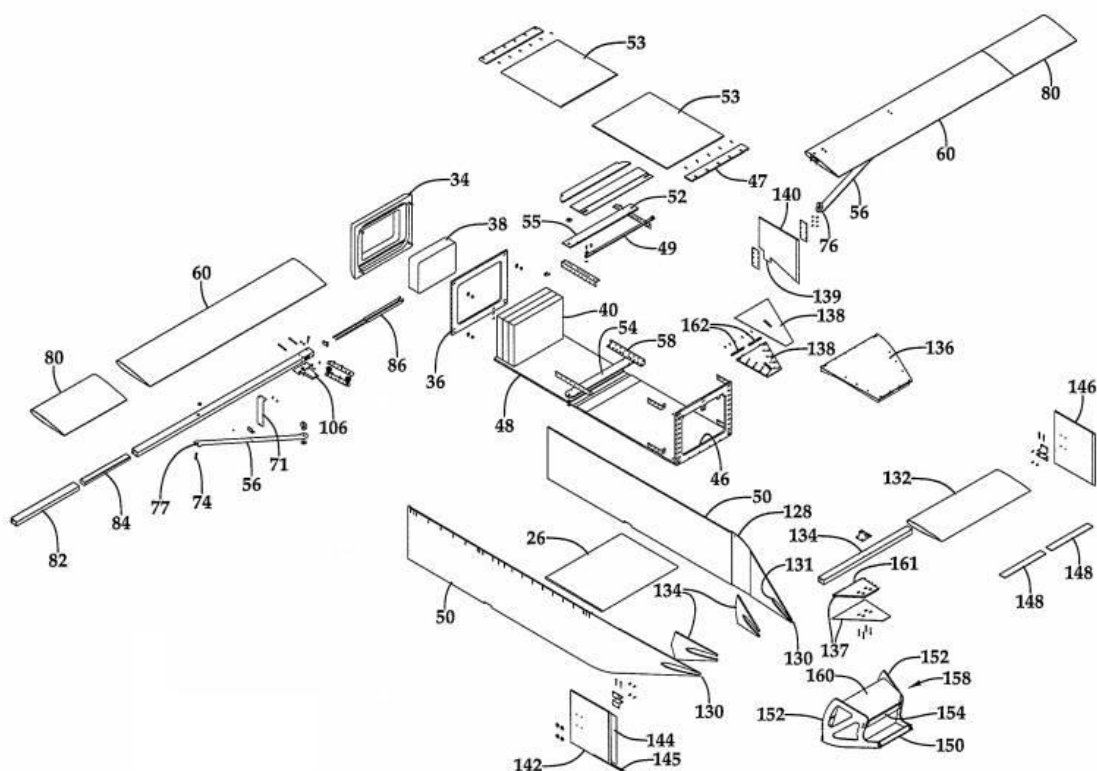


Рис 4.3.3 Деталі планера

Обидва проекти пропонують будівництво безмоторного ЛА нормальної аеродинамічної схеми. Для здешевлення виробництва більшість деталей виконується з фанери. З тією самою метою планер має грубі обводи. Основна частина фюзеляжу віддана під вантажний відсік, а хвості розташовуються мінімально необхідні засоби управління.

Фюзеляж планерів LG-1K та LG-2G виконаний у вигляді фанерної скриньки заданих розмірів. Плоский носовий обтічник виконує функції амортизатора під час посадки. У центральній частині фюзеляжу кріпиться пряме крило великого подовження, що розкладається в польоті. При транспортуванні носієм площини розташовуються вздовж фюзеляжу, а при скиданні спеціальний механізм переводить їх у робоче положення. Хвіст, що звужується, несе оперення зі стабілізатором, кілем і парою шайб. БПЛА може оснащуватися посадковим парашутом, але він розташовується у вантажному відсіку та скорочує доступні об'єми.



Рис 4.3.4 Планер у вантажному відсіку носія

БПЛА типу LG-1К має довжину 3,2 м при розмаху крила 7,1 м. Усередині вантажного відсіку загальним об'ємом менше 0,9 м<sup>3</sup> міститься 320 кг корисного навантаження. Планер LG-2К помітно більший і важчий. Його довжина досягає 3,9 м, розмах крила – 8,4 м. У відсіку об'ємом 1,2 м<sup>3</sup> перевозиться 725 кг навантаження. Власна маса більшого апарату – лише 181 кг. Під час планування обидва зразки розвивають швидкість трохи більше 280 км/год. Максимальна дальність планування – 70 миль. Аеродинамічна якість – 12.

Спосіб застосування планерів досить простий. Носій виходить у заданий район та здійснює скидання БПЛА у транспортному положенні. Після скидання планер розкриває крила та починає самостійний політ до зазначених координат. Там безпілотник виконує горизонтальну посадку або випускає посадковий парашут. Після цього «адресати» можуть розібрати планер та вийняти доставлений вантаж. Повторне застосування не передбачається.

Стверджується, що LG-1К та LG-2К мають низку важливих переваг. Вони прості та дешеві у виробництві, а також повністю справляються з покладеними завданнями. Планери сумісні з кількома носіями та здатні перевозити різноманітні вантажі, що відповідають обмеженням вантажовідсіку. Також вони показують досить високі льотні характеристики і є дуже складною метою для



ППО противника.

За відомими даними, програма TACAD все ще залишається на стадії льотних випробувань та доведення техніки. Реальні перспективи представлених зразків від Logistic Gliders поки що не визначені. Проте вже зрозумілі основні можливості такої техніки, сфери її застосування, переваги та недоліки.

Насамперед, цікавий сам підхід до конструювання спеціальних БПЛА. Виконуючи вимоги замовника щодо вартості, компанія-розробник використовувала найпростіші та найдешевші матеріали та компоненти. Це дозволило отримати необхідні властивості та прийнятний ресурс.

Планери поєднують непогані льотні характеристики, прийнятну вантажопідйомність та вдалі засоби управління з двома режимами роботи. Спосіб керування польотом, автономний або за командами оператора може вибиратися в залежності від різних факторів.

Цікавими є заяви розробника про високу стійкість БПЛА до засобів ППО супротивника. Малогабаритний дерев'яний планер важко помітити і вразити. Крім того, він навряд чи стане пріоритетною метою для зенітників, хоч і зменшить ризики для свого носія.

Загалом компанії Logistic Gliders вдалося створити цікавий та вдалий спеціалізований зразок техніки для вирішення конкретних транспортних завдань. Випробування двох типів БПЛА-планерів все ще продовжуються і ведеться вдосконалення конструкції. Проте основні особливості техніки вже визначено і навряд чи зміняться у майбутньому.

#### **4.4 Використання концепції здешевлення у проектуванні та виробництві БПЛА**

Враховуючи сучасні тенденції до збільшення об'єму використання безпілотних літальних апаратів у цивільній та військовій сферах можна прийти до висновків, що на сьогоднішній день є перспективним напрямком використання розповсюджених та дешевих матеріалів для проектування та виробництва низки

спеціалізованих безпілотних літальних апаратів.

По-перше чергу, таку концепцію можна використати у масовому будівництві малих та середніх безпілотних літальних апаратів, які можуть бути використані з метою:

- Розвідки
- Патрулювання
- Нанесення точкових або масованих ударів по об'єктам супротивника

З метою дослідження можливості розробки таких апаратів було використано відповідне програмне забезпечення.

#### 4.4.1 Отримання теоретичної геометрії з використанням програми FLZ Vortex

З метою отримання теоретичної геометрії планера безпілотного літального апарату ми використовуємо програмне забезпечення під назвою FLZ Vortex. Це програмне забезпечення розповсюджується на безоплатній основі, та може бути використано для математичного моделювання безпілотних літальних апаратів за різноманітними аеродинамічними схемами.

- Класична аеродинамічна схема
- Аеродинамічна схема «Качка»
- Дельтаподібне крило
- Літаюче крило

Оскільки можливості даного програмного забезпечення поки що не мають можливості враховувати аеродинамічні параметри фюзеляжу, у розрахунках аеродинамічної поверхні ми будемо використовувати єдину аеродинамічну схему ка не має в ньому необхідності, а саме – Літаюче крило.

Для виконання першого приблизного моделювання виберемо дані, які пропонуються нам у шаблоні solo.flz. Моделювання за цим шаблоном надасть нам наступний загальний очікуваний вигляд літаючого крила

При виконанні симуляції за допомогою програми FLZ Vortex ми отримали

приблизні теоретичні характеристики планеру безпілотного літального апарату за аеродинамічною схемою «Літаюче крило».

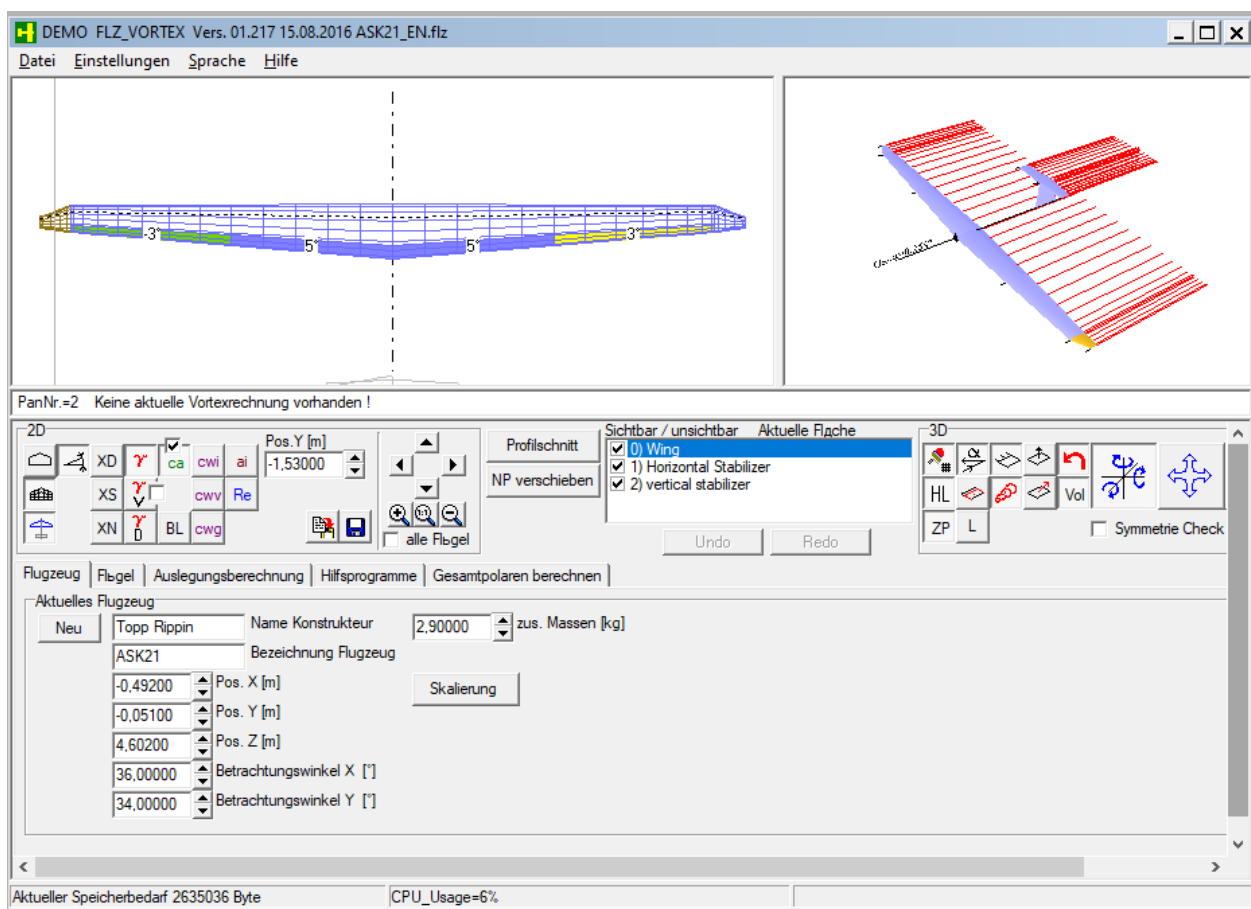


Рис 4.4.1 Головне меню програми FLZ Vortex

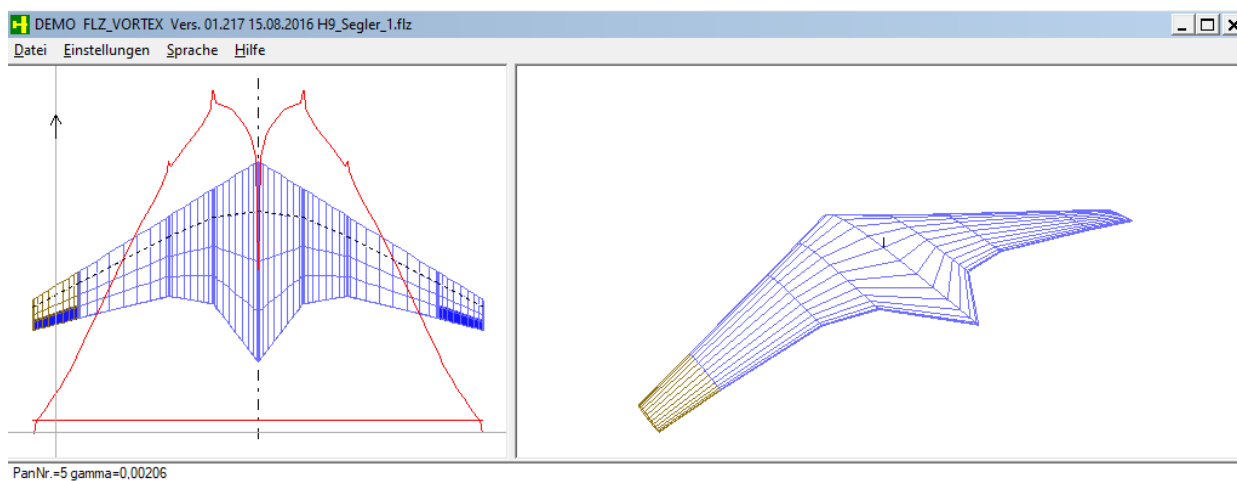


Рис 4.4.2 Загальний вид БПЛА за схемою літаюче крило, та розподілення підйомної сили

Entire airplane | 0) H9\_Segler\_1 |

Designer's Name = Noname  
 Designation (name) of airplane = Noname

Angle of Attack of airplane = 1,80000°  
 Sideslip Angle of airplane = 0,00000°  
 Total mass of airplane = 10,00000kg

Total surface (S\_tot) of airplane = 3,01950m<sup>2</sup>  
 Lift generating surface (SI) of airplane = 3,01950m<sup>2</sup>  
 Side-force generating surface (SY) of airplane = 0,00000m<sup>2</sup>  
 Mean Aerodynamic Chord l\_my, mean reference chord of all wings = 0,90542m

Wing loading (reference lift generating surface SI) = 3,31181kg/m<sup>2</sup> = 33,11807g/dm<sup>2</sup>  
 Air density = 1,22500kg/m<sup>3</sup>

Lift coefficient (CL\_tot) of airplane (reference surface SI of airplane) = 0,13510  
 Side-force coefficient total airplane (CY\_tot) (reference surface is SY of airplane) = 0,00000  
 Airplane induced drag coefficient (CDI\_tot) (reference surface S\_tot of airplane) = 0,00153  
 Friction Drag (CD\_visc) (reference surface is S\_tot of airplane) = 0,01038  
 Interference drag (Cd\_int) (reference surface is S\_tot of airplane) = 0,00000  
 Fuselage drag (Cd\_fusl) (reference surface is fuselage cross-section S\_fusl) = 0,00000  
 Airplane total drag (CD\_tot) = Cdi + Cd\_visc + Cd\_int + Cd\_fusl (reference surface is S\_tot of airplane) = 0,01190  
 Glide Ratio (LD) of airplane = 11,34924  
 Ascent Ratio (epsilon) of airplane = 4,17147  
 Sliding Angle of airplane = 5,0354 Grad  
 Sink Rate (vs) of airplane = 1,74561 m/s  
 Airspeed (v) of airplane = 19,81136m/s = 71,32091km/h

Moment Coefficients around airplanes Zero-Point (ZP), reference length is l\_my  
 Pitching moment coefficient at airplanes Zero-Point (CM\_ZP) (reference surface SI of airplane) = -0,05963  
 Yawing moment coefficient at airplanes Zero-Point (CN\_ZP) (reference surface S\_tot of airplane) = 0,00000  
 Roll moment coefficient at airplanes Zero-Point (CL\_ZP) (reference surface S\_tot of airplane) = -0,00000

Moment Coefficient around airplanes centre of gravity (XG), reference length is l\_my  
 Pitching moment coefficient (CM\_XG) of airplane (reference surface is SI) = 0,00158

Yawing moment coefficient (CN\_XG) of airplane (reference surface is S\_tot) = 0,00000  
 Roll moment coefficient (CL\_XG) of airplane (reference surface is S\_tot) = -0,00000

Lift increase around Angle of Attack = 3,80083  
 Centre of Pressure relative to Zero-Point of airplane in X-direction CPX = 0,41023m  
 Centre of Pressure relative to Zero-Point of airplane in Z-direction CPZ = 0,12240m  
 Centre of Gravity Location (XG) from Zero-Point of airplane in X-direction = 0,41023m  
 Neutral Point Location (XN) from Zero-Point of airplane in X-direction = 0,51763m  
 Stability Measure in % of reference chord l\_my = 11,86240% = 0,10740m (Distance XP -> XN), negative sign indicates unstable flight

Lift (L) = 98,06500N  
 Drag (D) = 8,64067N  
 Side-force (Y) = 0,00000N

Pitching moment around Zero-Point of airplane (M\_ZP) = -39,17111Nm  
 Yawing moment around Zero-Point of airplane (N\_ZP) = 0,00000Nm  
 Roll moment around Zero-Point of airplane (L\_ZP) = 0,00000Nm

Pitching moment around Centre of Gravity (M\_XG) = 1,05157Nm  
 Yawing moment around Centre of Gravity (N\_XG) = 0,00000Nm  
 Roll moment around Centre of Gravity (L\_XG) = 0,00000Nm

Рис 4.4.3 Дані отримані за допомогою програми FLZ Vortex

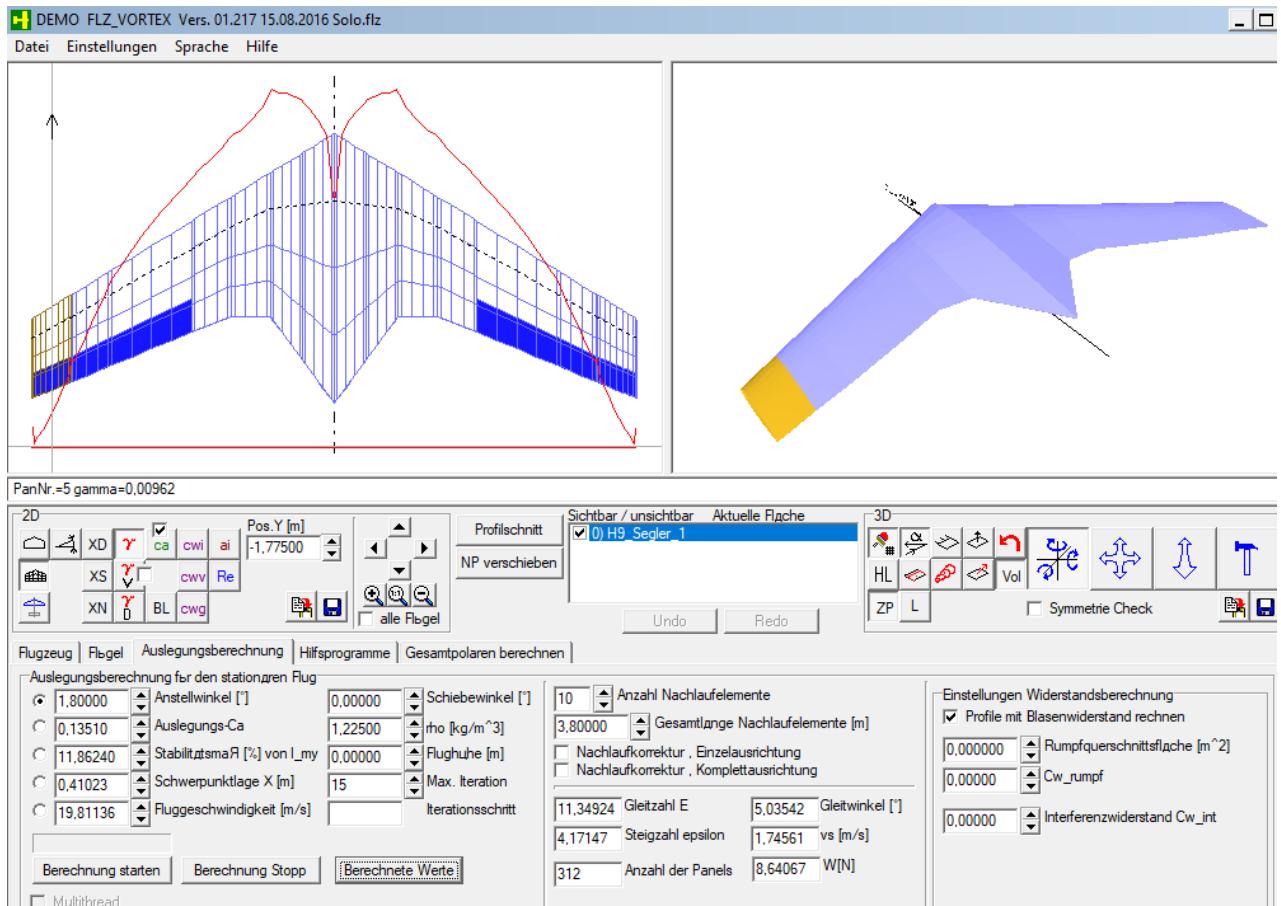


Рис 4.4.4 Загальний очікуваний вигляд безпілотної літаючої апаратури

#### 4.4.2 Дослідження компоновки БПЛА за схемою літаюче крило

Дослідження компоновки БПЛА за схемою літаюче крило ми будемо виконувати за допомогою програмного забезпечення SolidWorks яке було розроблено фірмою Dassault Systems.

SolidWorks є ядром інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, за допомогою якого здійснюється підтримка життєвого циклу виробу згідно з концепцією CALS — технологій, включаючи двонаправлений обмін даними з іншими Windows-застосунками та створення інтерактивної документації.

Програма з'явилась в 1993 році та склала конкуренцію таким продуктам як AutoCAD та Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS і Pro/ENGINEER, Solid Edge.

За допомогою штатних засобів експорту програми FLZ Vortex можна

отримати змодельовану геометрію фіюзеляжу безпілотного літального апарату у форматі .dxf, яку у свою чергу можна імпортувати у SolidWorks для подальшого дослідження.

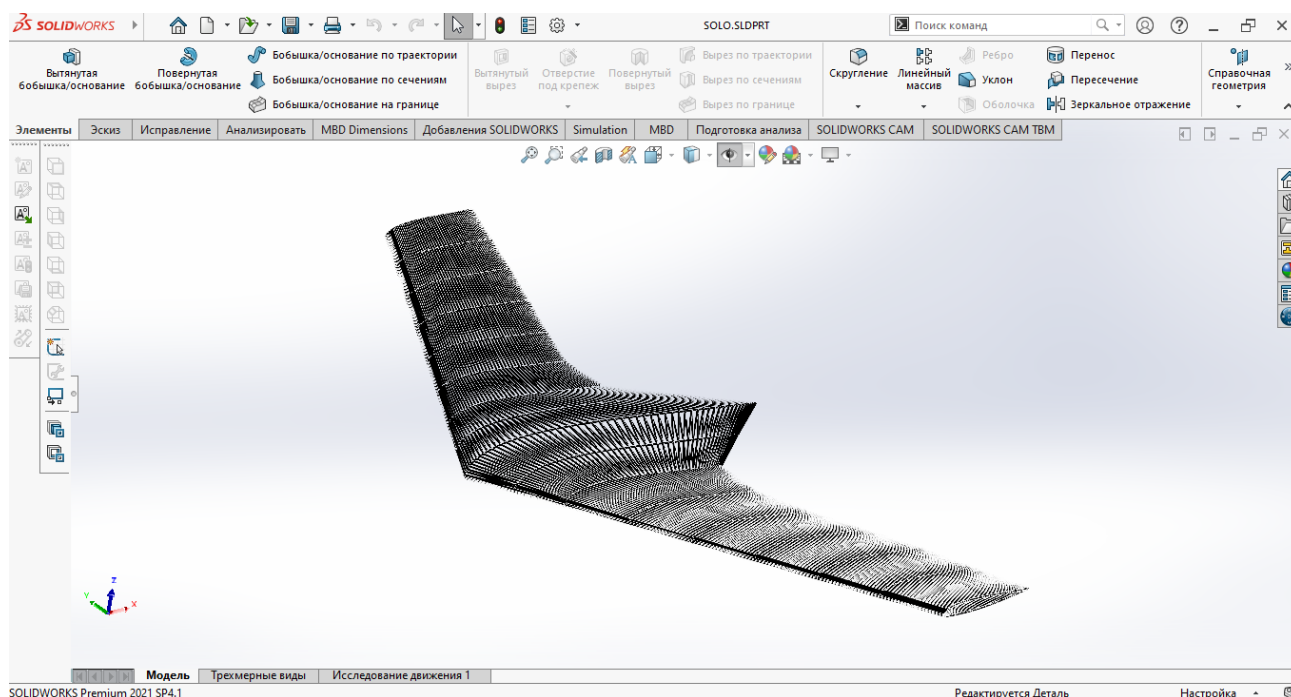


Рис 4.4.5 Теоретичні обводи БПЛА у програмі Solidworks

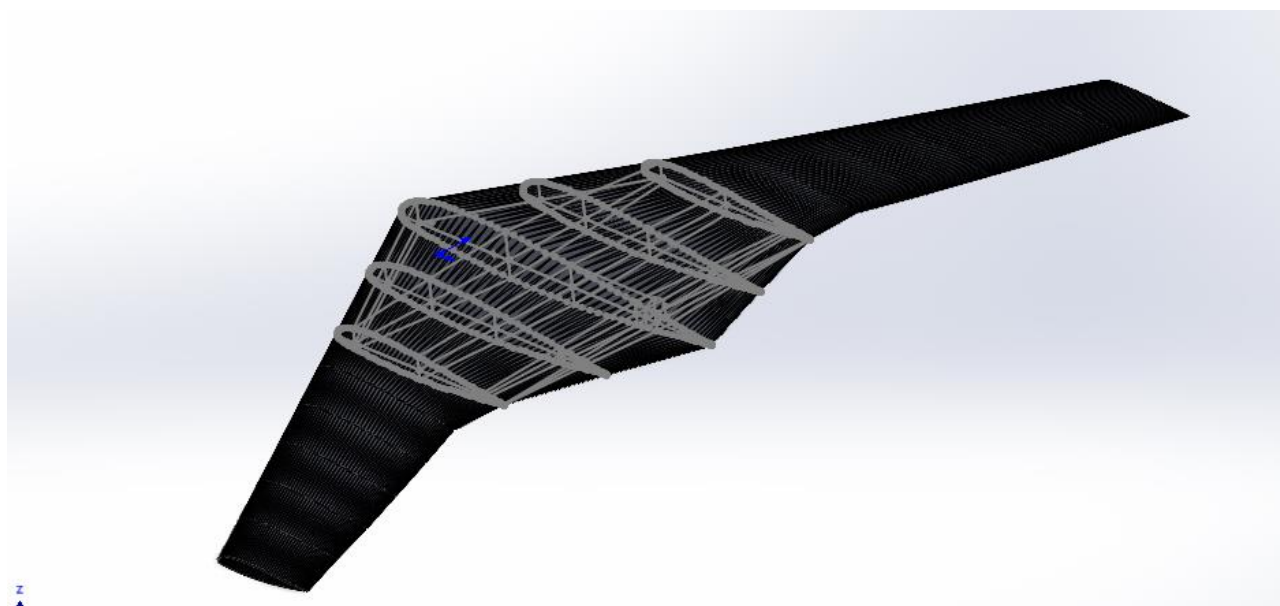
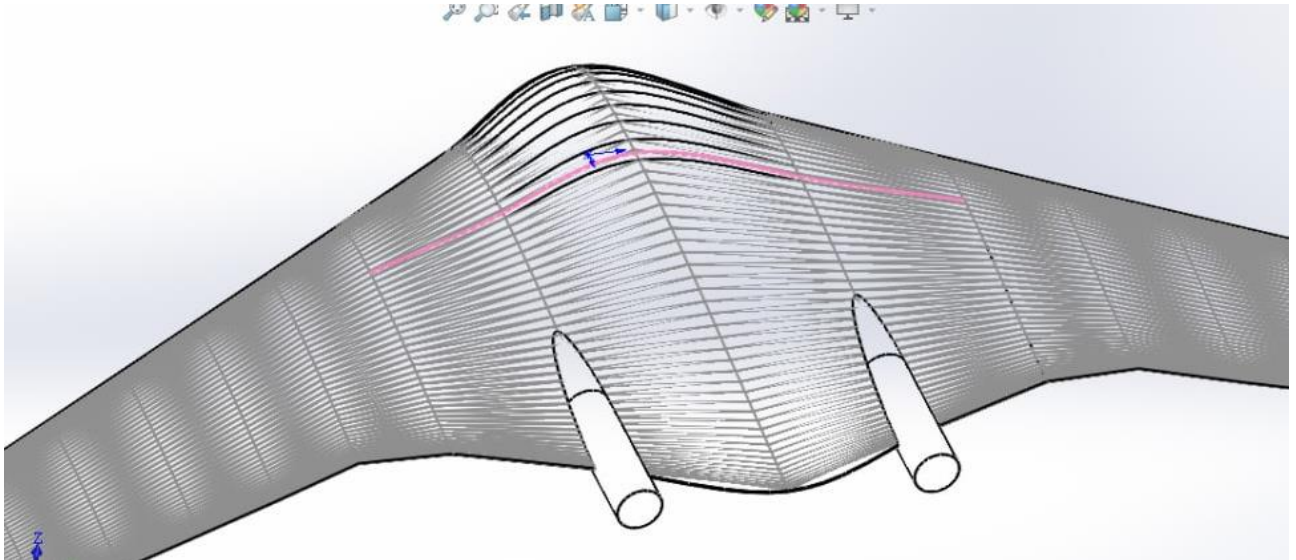


Рис 4.4.6 Теоретичні обводи БПЛА у програмі Solidworks



в)

Рис 4.4.7 Теоретичні обводи БПЛА у програмі Solidworks

Використовуючи імпортовану геометрію можна почати створювати ескізи майбутнього положення елементів силового каркасу: нервюр, лонжеронів.

Усі елементи, які будуть розташовані у внутрішньому просторі імпортованої геометрії не мають її перетинати, оскільки вона характеризує собою обшивку літального апарату.

На Рис 4.4.10 ми вказали можливе розташування нервюр крила, узявши за основу силовий каркас безпілотної літального апарату X-47b (Рис 4.4.8), та каркас дозвукового бомбардувальника B-2 Spirit (Рис 4.4.9). Також можна побачити вільне місце, для розташування одного з двох елементів крила.





Рис 4.4.8 Структурні елементи X-47В

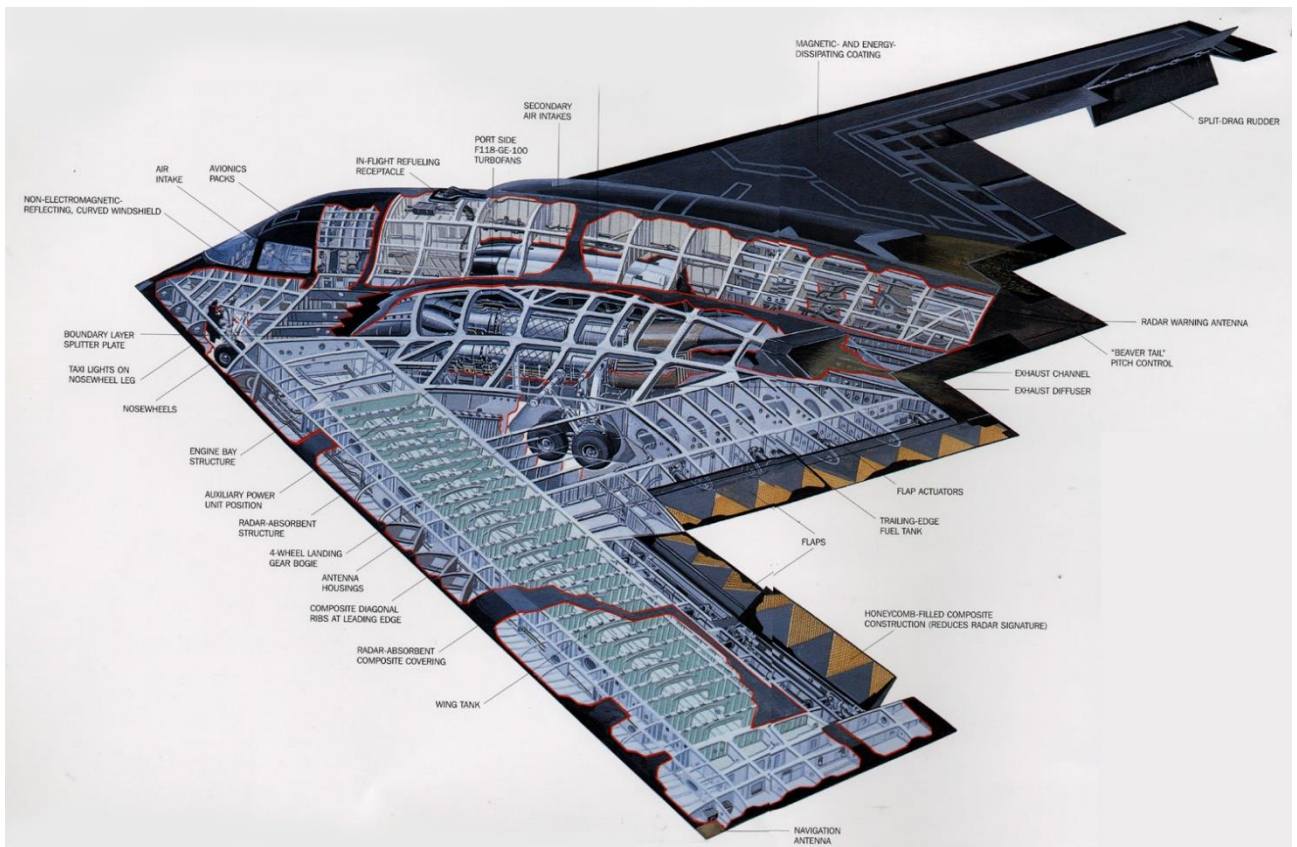


Рис 4.4.9 Структурні елементи В-2



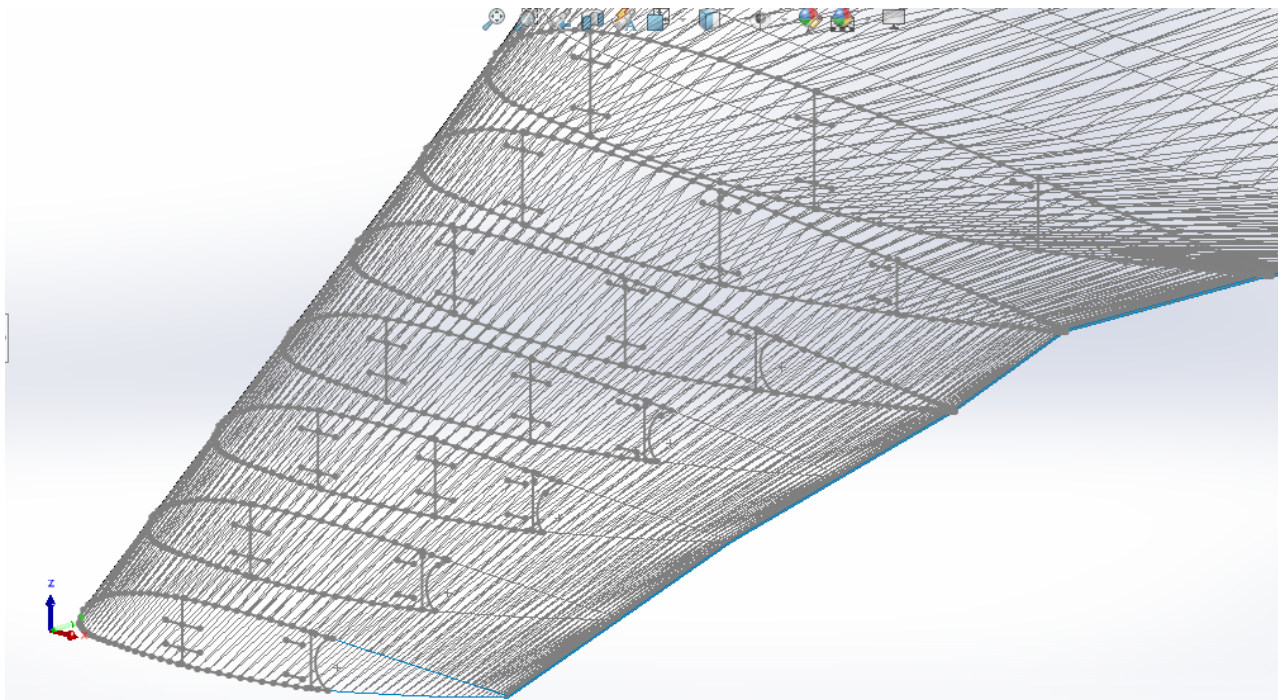


Рис 4.4.10 Теоретичне розташування нервюр крила

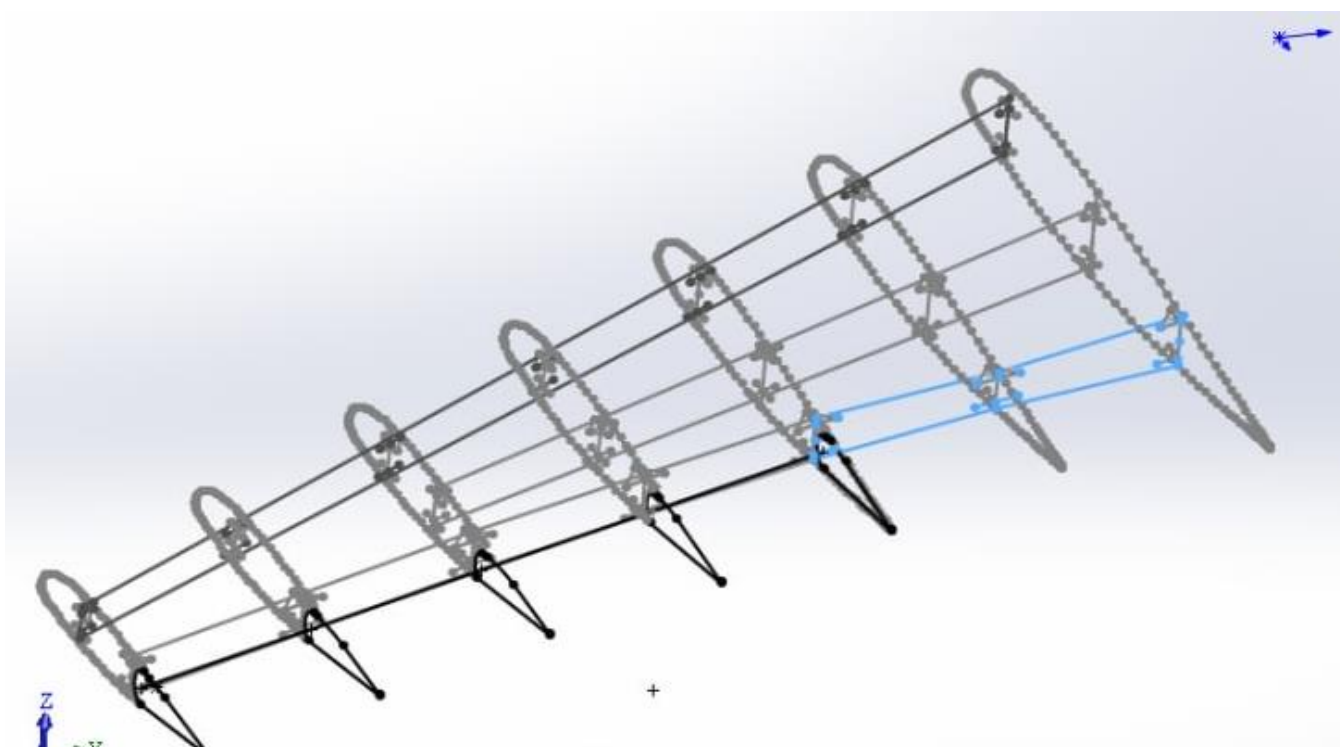


Рис 4.4.11 Розміщення елементів, нервюр та лонжеронів

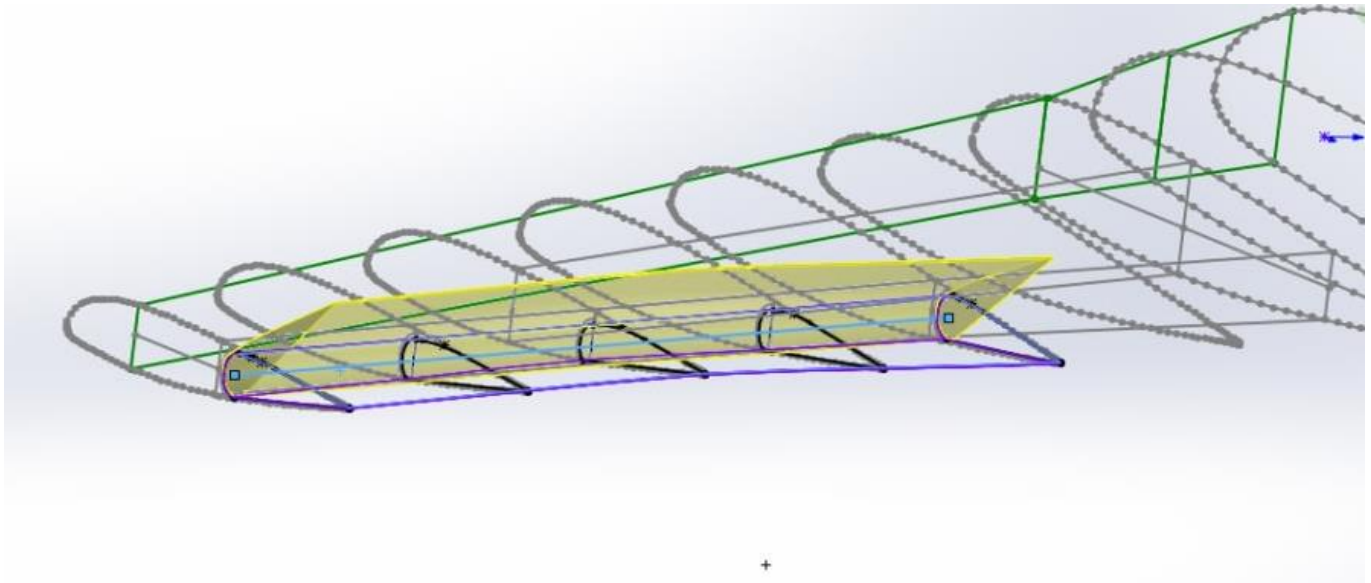


Рис 4.4.12 Розміщення елевону

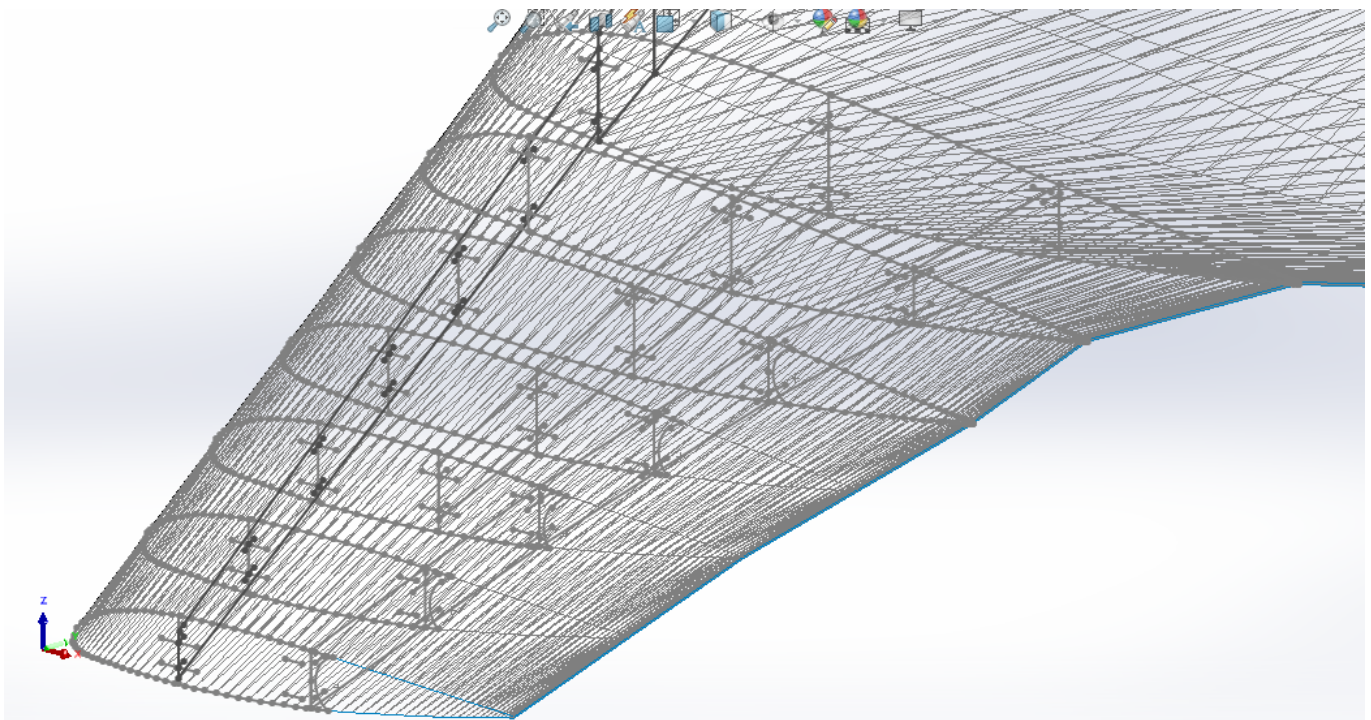


Рис 4.4.13 Можливе розташування трьох лонжеронів крила.

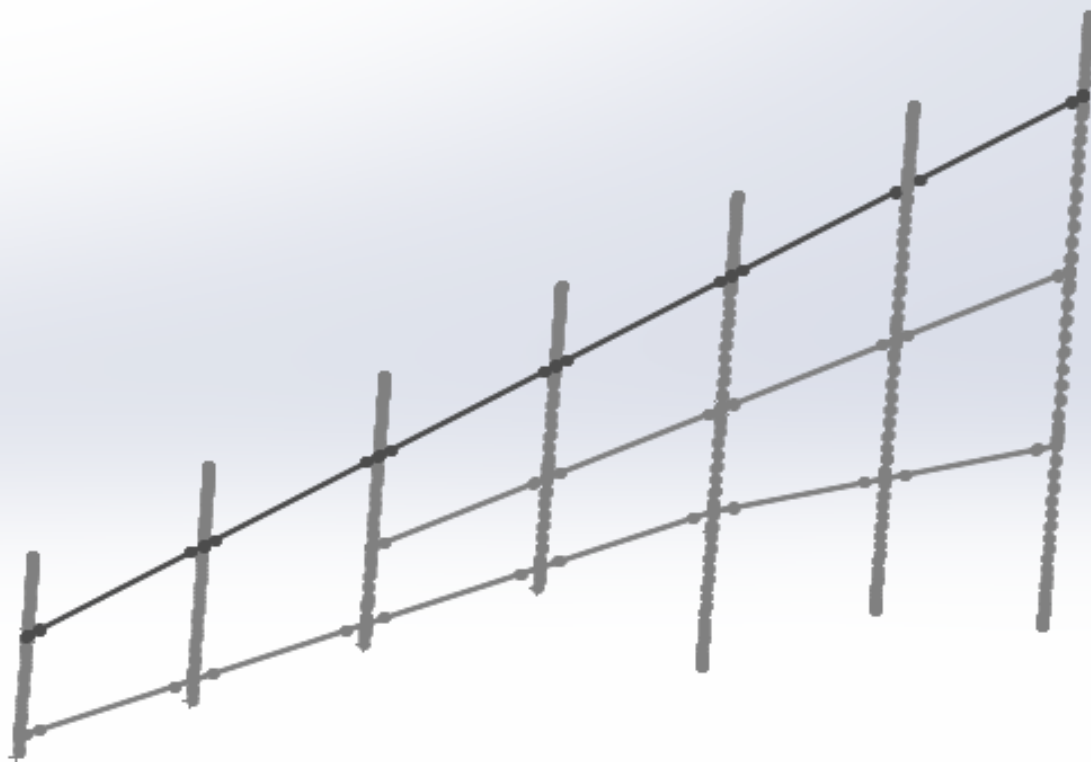


Рис 4.4.14 Можливе розташування силових компонентів крила

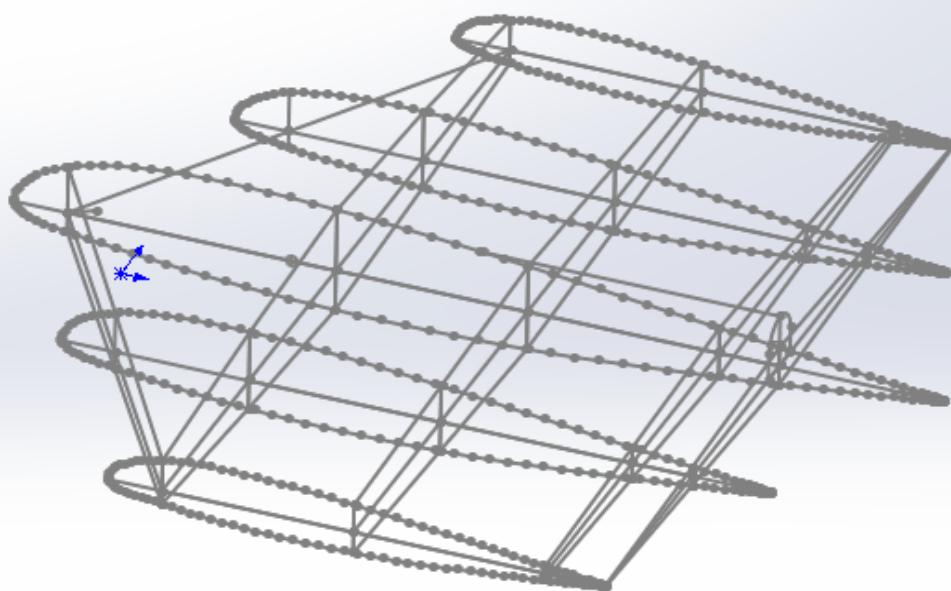


Рис 4.4.15 Можливе розташування силових компонентів фюзеляжу



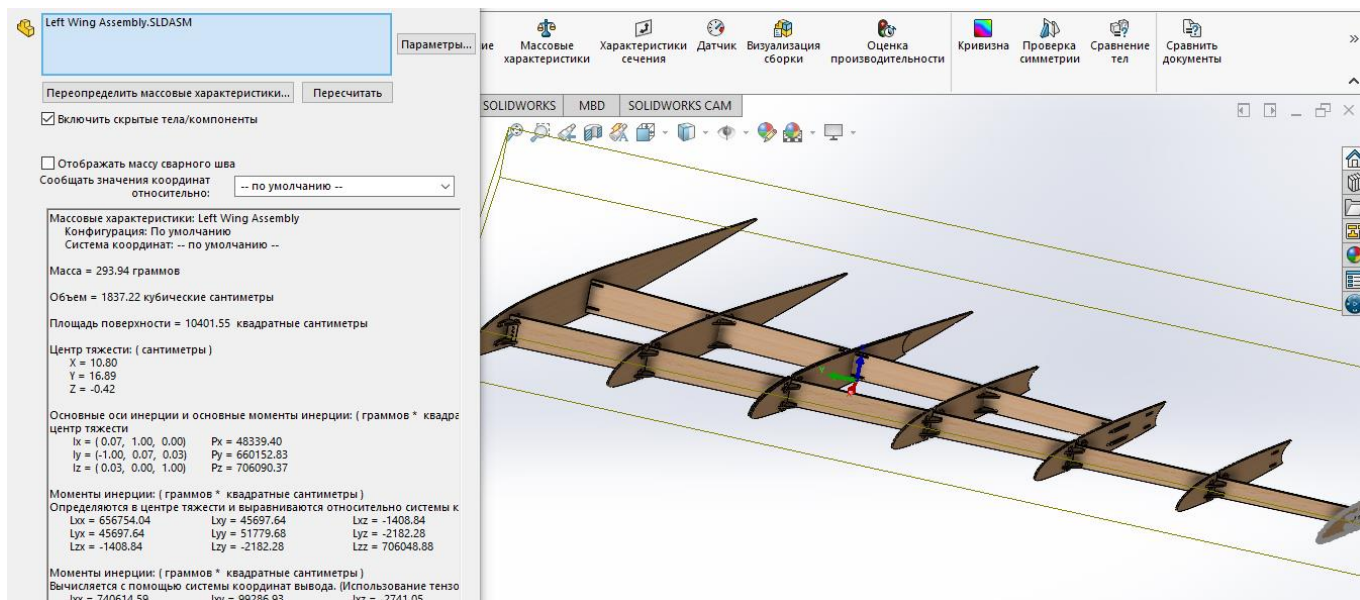


Рис 4.4.16 Моделювання каркасу крила у матеріалі

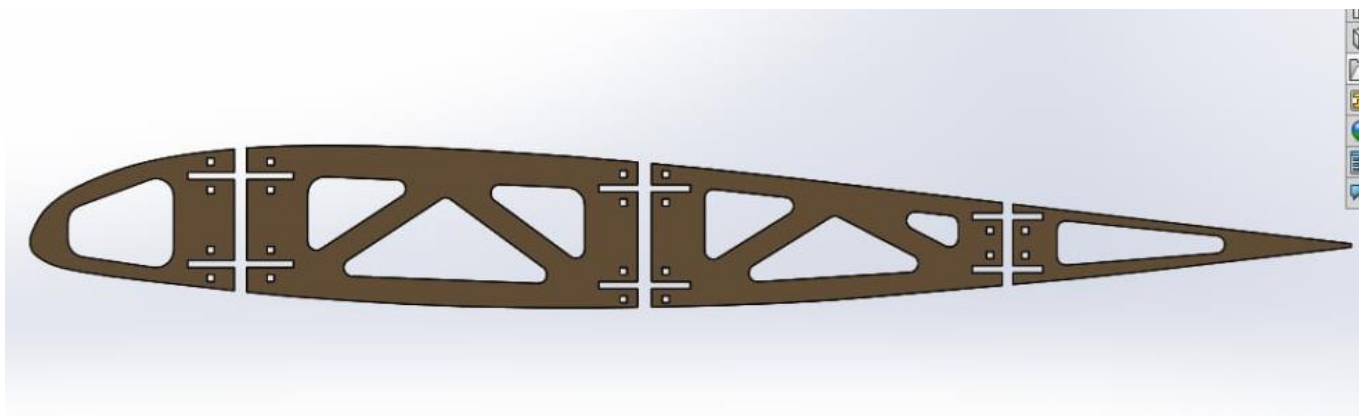


Рис 4.4.17 Моделювання нервюр крила

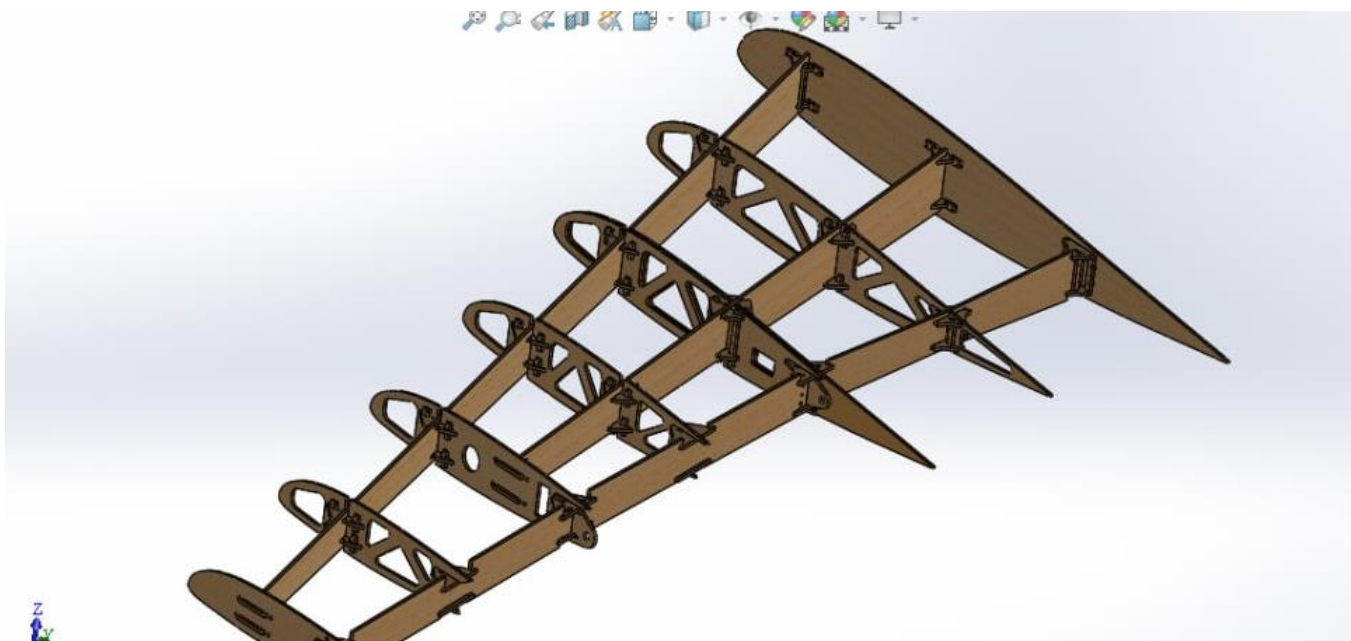


Рис 4.4.18 Моделювання каркасу крила у матеріалі

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks можна виконувати проектування силових та допоміжних елементів каркасу у реалістичному форматі, додаючи деталям необхідну геометрію та товщину. За допомогою вбудованих бібліотек матеріалів можна задавати матеріали деталей для подальших розрахунків міцності. За допомогою інструменту «Аналізувати», який можна побачити на рис. 4.4.2.6 можна прогнозувати приблизні масові характеристики, та виконувати розрахунки кількості необхідних матеріалів.

При виконанні подальшого проектування та уточнення параметрів деталей безпілотного літального апарату можна виконати приблизні розрахунки міцності майбутнього силового каркасу. Для цього використовуються ті ж бібліотеки матеріалів, про які ми говорили вище. Зрозуміло, що без натурних випробувань неможливо визначити доволі точні значення міцності одними лише моделюваннями.

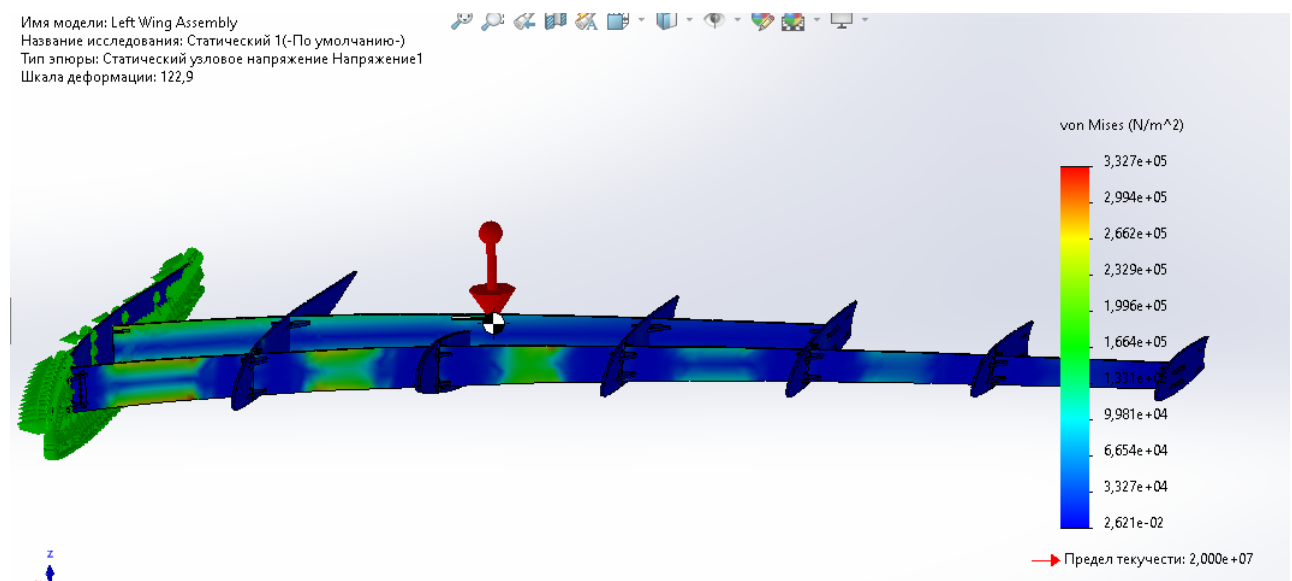


Рис 4.4.19 Розрахунок міцності крила (матеріал: бальса)

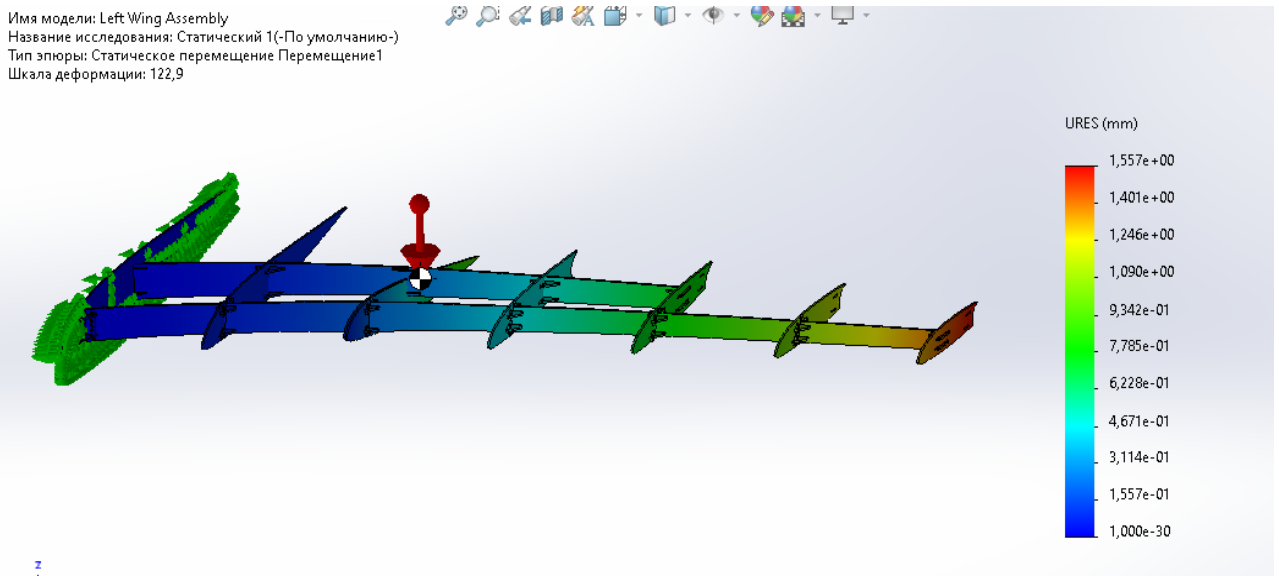


Рис 4.4.20 Розрахунки лінійного зміщення (Матеріал: бальса)

На реальний результат можуть впливати різноманітні фактори, такі як вологість та температура повітря, вологість деревини, з якої виготовляються елементи каркасу, направлення волокон у матеріалі, незалежно від того чи натуральна це деревина, чи синтетичне карбонове чи кевларове волокно.

## Висновки до Розділу 4

У розділі 4 ми розглянули історію виникнення літаків та безпілотних літальних апаратів виконаних за аеродинамічною схемою «літаюче крило». Нами були розглянуті переваги та недоліки даної аеродинамічної схеми, з яких можна прийти до висновків, що обрана нами аеродинамічна схема може використовуватись у випадках, коли має високе значення аеродинамічна якість літального апарату. Вона досягається відмовою від виступаючих за крило частин та механізмів. Також, літальні апарати виконані за схемою літаюче крило мають більш низький ЕПР у порівнянні з апаратами виконаними за класичними аеродинамічними схемами.

Основною перевагою аеродинамічної схеми «літаюче крило» можна вважати те, що підйомна сила створюється усією поверхнею літального апарату,

а не тільки її частиною. Відсутність необхідності піднімати у повітря фюзеляж та великі управляючі поверхні призвели до можливості піднімати на борт більше корисного навантаження.

Основний недолік цієї аеродинамічної схеми: невелике віддалення керуючих поверхонь від центра мас літального апарату обумовлює їх низьку ефективність, що робить літак нестійким «Рискливим» у польоті. Неможливість вирішити дану проблему до виникнення електродистанційних систем керування, автоматично підтримуючих прямолінійний політ призвела до того, що літаки подібної аеродинамічної схеми не мали широкого розповсюдження. Проте, цей недолік може бути нівельований при використанні аеродинамічної схеми «літаюче крило» на безпілотних літальних апаратах, оскільки для керування ними використовуються сучасні електродистанційні системи керування.

На теперішній час, у деяких сферах використання безпілотних літальних апаратів спостерігається тенденція до здешевлення та масштабування виробництва. Яскравим прикладом такої тенденції може використовуватися програма по створенню дешевого, фанерного, вантажного безпілотного літального апарату для доставки вантажів на поле бою при протидії ворожого протиповітряного захисту.

Використання комп'ютерного проектування та моделювання може прискорити роботи у цій сфері.

## Висновки

Цивільна авіація, на протязі усього свого існування базувалася на уявленні про пілота, який керує літаком знаходячись на борту самого повітряного судна і найчастіше з пасажирами на борту. Зняття пілота з літака викликає важливі технічні та експлуатаційні питання, масштаби яких активно вивчається авіаційною спільнотою.

Літаки з дистанційним керуванням є новим компонентом авіаційної системи, над розумінням, визначенням і остаточною інтеграцією якої працюють ІКАО, держави та аерокосмічна промисловість. Ці системи засновані на передових розробках аерокосмічних технологій, пропонуючи досягнення, які можуть відкрити нові та вдосконалені цивільні/комерційні/військові застосування, а також покращити безпеку та ефективність усієї цивільної авіації.

У цій роботі було подану класифікацію безпілотних літальних апаратів за різними показниками, серед яких: зльотна маса, час польоту, дальність польоту, висота польоту

Були наведені класифікації безпілотних літальних апаратів за даними НАТО (STANAG 4670) та UVS International. Ми визначили, що усі вищезазначені класифікації базуються на основних базових параметрах. На основі цих даних може бути створена узагальнена класифікація на ознаковій основі може бути використана в розробках, що стосуються БЛА, як в Україні, так і за її межами.

Також, ми розглянули класифікацію безпілотних літальних апаратів за конструкцією. Визначили конструктивні та експлуатаційні особливості безпілотних літальних апаратів за схемами: БПЛА з фіксованим крилом, або літакового типу, тейлсіттер, БПЛА аеростатичного типу, БПЛА на ефекті Коанда, БПЛА мутикоптерної системи, БПЛА гібридної системи та конвертоплани.

На підставі цих даних можна зазначити. Що найбільш поширеними є БПЛА літакового типу, та мультикоптери. У подальшому ми будемо детальніше



розглядати БПЛА літакового типу, як найбільше гнучку платформу для виконання широкого спектру завдань.

У цій роботі було визначено, аеродинамічна схема «літаюче крило» має переваги відносно інших аеродинамічних схем, та може бути використана для реалізації концепції дешевого та масового безпілотного літального апарату.

Ми розглянули історію виникнення літаків та безпілотних літальних апаратів виконаних за аеродинамічною схемою «літаюче крило». Були розглянуті переваги та недоліки даної аеродинамічної схеми, з яких можна прийти до висновків, що обрана нами аеродинамічна схема може використовуватись у випадках, коли має високе значення аеродинамічна якість літального апарату. Вона досягається відмовою від виступаючих за крило частин та механізмів. Також, літальні апарати виконані за схемою літаюче крило мають більш низький ЕПР у порівнянні з апаратами виконаними за класичними аеродинамічними схемами.

Основною перевагою аеродинамічної схеми «літаюче крило» можна вважати те, що підйомна сила створюється усією поверхнею літального апарату, а не тільки її частиною. Відсутність необхідності піднімати у повітря фюзеляж та великі управляючі поверхні призвели до можливості піднімати на борт більше корисного навантаження.

Основний недолік цієї аеродинамічної схеми: невелике віддалення керуючих поверхонь від центра мас літального апарату обумовлює їх низьку ефективність, що робить літак нестійким «Рисковим» у польоті. Неможливість вирішити дану проблему до виникнення електродистанційних систем керування, автоматично підтримуючих прямолінійний політ призвела до того, що літаки подібної аеродинамічної схеми не мали широкого розповсюдження. Проте, цей недолік може бути нівельований при використанні аеродинамічної схеми «літаюче крило» на безпілотних літальних апаратах, оскільки для керування ними використовуються сучасні електродистанційні системи керування.

На теперішній час, у деяких сферах використання безпілотних літальних апаратів спостерігається тенденція до здешевлення та масштабування

виробництва. Яскравим прикладом такої тенденції може використовуватися програма по створенню дешевого, фанерного, вантажного безпілотного літального апарату для доставки вантажів на поле бою при протидії ворожого протиповітряного захисту.

Використання комп'ютерного проектування та моделювання може прискорити роботи у цій сфері. Оскільки при використанні так званого моделювання «згори-донизу» може набагато пришвидчити моделювання та розрахунки конструкції безпілотного літального апарату за схемою «літаюче крило», а також допомогти при плануванні компоновки такого літального апарату.

## Список використаних джерел

1. Doc. 10019-AN/507, Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), [Text] / ICAO. First Edition- 2015.
2. Cir 328 AN/190, Unmanned Aircraft Systems (UAS), ICAO 2011.
3. Doc 7300/9 Convention on International Civil Aviation [Текст]/ International Civil Aviation Organization. – 9 Edition. – Montréal, 2006 – 114p.
4. History of aircraft construction in the USSR" by V.B. Shavrov, Vol. 1 p. 431
5. U.S. Naval Technical Mission in Europe. "Technical Report No. 76-45 on. Horten Tailless Aircraft" (PDF). Central Air Documents Office. p. 5. Retrieved 18 July 2010. Horten. H-II Both glider and powered version - (see figures 19 and 20)
6. History of aircraft construction in the USSR" by V.B. Shavrov, Vol. 2. p. 114.
7. Cary, Leslie; Coyne, James. "ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS), Circular 328". 2011-2012 UAS Yearbook - UAS: The Global Perspective (PDF). Blyenburgh & Co. pp. 112–115.
8. Alvarado, Ed (3 May 2021). "237 Ways Drone Applications Revolutionize Business". Drone Industry Insights. Retrieved 11 May 2021.
9. Nano, micro, small: The different drone types in India & if Jammu-like strike can be averted, The Print, 29 June 2021.
10. The Encyclopedia of the Arab-Israeli Conflict: A Political, Social, and Military History: A Political, Social, and Military History, ABC-CLIO, 12 May 2008, by Spencer C. Tucker, Priscilla Mary Roberts, pages 1054–55 ISBN
11. How Autonomous Drone Flights Will Go Beyond Line of Sight". Nanalyze. 31 December 2019.
12. "unmanned aerial vehicle | Definition, History, Types, & Facts". Encyclopedia Britannica.
13. Combat drones in China are coming to a conflict near you".

URL [www.intelligent-aerospace.com](http://www.intelligent-aerospace.com).

14. "Drone Light Shows Powered by Intel". Intel. Retrieved 28 June 2021.
15. Слюсар, Вадим. (2010). Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО.. Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. - № 3. с. С. 80 – 86.
16. Слюсар, В.И. (2018). Система исследований НАТО по развитию нелетального оружия.. Зб. матеріалів VI міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки”. – Київ. с. С. 306 – 309.
17. Замятин Павел Александрович. Классификационные признаки беспилотных летательных аппаратов аэродромного базирования : [рос.] // Сборник публикаций научного журнала «Chronos» : Наук. зб.. — М. : Chronos, 2020. — С. 77-78. — 76-84 с