

**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.

\_\_\_\_\_ В. Ю. Ларін

«—» \_\_\_\_\_ 2022 р.

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

**Тема: Порівняльний аналіз програмного забезпечення для проектування  
конструкції планера БПЛА**

**Виконав:** \_\_\_\_\_ **К.Д.Іванов**

**Керівник: д-р техн. наук, проф.** \_\_\_\_\_ **В.Ю. Ларін**

**Консультант розділу д-р техн. наук, проф** \_\_\_\_\_ **І.В. Остроумов**

**Консультант розділу д-р техн. наук, проф** \_\_\_\_\_ **Т.Ф. Шмельова**

**Нормоконтролер д-р техн. наук, проф** \_\_\_\_\_ **Т.Ф. Шмельова**

**Київ - 2022**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Аеронавігації, Електроніки та Телекомунікацій

Кафедра Аеронавігаційних Систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ларін В.Ю.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **на виконання дипломної роботи**

Іванов Костянтин Дмитрович

1. Тема дипломної роботи « Порівняльний аналіз програмного забезпечення для проектування конструкції планера БПЛА» затверджена наказом ректора від 20.09.2022 р. № 1594/ст.
2. Термін виконання роботи: з 05.09.2022 по 30.11.2022.
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій:
4. Зміст пояснювальної записки: Розглянуто та проаналізовано методи визначення аеродинамічних характеристик профілів крила, методологічне забезпечення обраних видів програмного забезпечення, обґрунтування конфігурації програмного забезпечення для виконання досліджень; обґрунтування та вибір програмного забезпечення для реалізації БПЛА планерного типу.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки результатів даних, таблиці, формули
6. Календарний план-графік

| №  | Завдання  | Термін виконання  | Відмітка про виконання |
|----|---|-------------------|------------------------|
| 1  | Підготовка та написання розділу 1<br>«Теоретична частина аеродинамічних властивостей профілів крила бпла»             | 22.10.22-11.11.22 | Виконав                |
| 2  | Підготовка та написання розділу 2<br>«Програмне забезпечення для дослідження аеродинаміки профілів крила»             | 12.10.22-13.11.22 | Виконав                |
| 3  | Підготовка та написання розділу 3<br>«Порівняльний аналіз основних середовищ моделювання аеродинаміки профілів крила» | 04.10.22-16.11.22 | Виконав                |
| 4  | Підготовка та написання розділу 4<br>«Порівняння результатів»   | 17.10.22-03.10.22 | Виконав                |
| 5  | Підготовка та написання розділу 5<br>«Автоматизована обробка»   | 18.10.22-03.10.22 | Виконав                |
| 6  | Підготовка та написання розділу 6<br>«Охорона праці»  | 19.10.22-03.10.22 | Виконав                |
| 7  | Підготовка та написання висновків до дипломної роботи   | 14.10.22-16.11.22 | Виконав                |
| 9  | Оформлення роботи згідно вимог нормоконтролю  | 07.11.22-18.11.22 | Виконав                |
| 10 | Підготовка презентації та доповіді  | 15.11.22-24.11.22 | Виконав                |

7. Дата видачі завдання: « 05 » вересня 2022 р.

Керівник дипломної роботи  
Юрійович

(підпис керівника)

Ларін Віталій

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання  
Дмитрович

(підпис студента)

Іванов Костянтин

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Порівняльний аналіз програмного забезпечення для проектування конструкції планера БПЛА»: 93 сторінки, 2 таблиць, 63 рисунка, 81 використаних джерела.

Об'єкт дослідження – Порівняння програмного забезпечення для проектування конструкції планера БПЛА

Предмет дослідження – Оцінка програмного забезпечення аеродинамічного аналізу.

Мета дослідження: Порівняльний аналіз існуючого програмного для проектування конструкції профілів крила БПЛА.

Метод дослідження – вивчення літератури, експерименти в аеродинамічній трубі та вимірювання параметрів, комп'ютерне моделювання, аналіз отриманих даних. теоретичні методи, комп'ютерне моделювання.

В дипломній роботі виконано аналіз та обґрунтування найбільш поширеного програмного забезпечення для проведення аналізу профілів крила при проектуванні конструкції планера безпілотного літального апарату з урахуванням аеродинамічних властивостей профілю при різних швидкостях.

БПЛА, ПЛАНЕР, ХОРДА, ПОЛЯРА, НАСА, АЕРОДИНАМІКА, ПРОФІЛЬ

## **АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП  | 8  |
| РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА АЕРОДИНАМІЧНИХ<br>ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОФІЛІВ КРИЛА БПЛА.             | 9  |
| 1.1 Визначення профілю   | 9  |
| 1.2 Аеродинамічні профілі НАСА   | 10 |
| 1.3 Дизайн профілів.   | 11 |
| 1.4 Вибір профілю  | 12 |
| 1.5 2D аналіз профіля крила  | 12 |
| 1.6 3D Аналіз  | 14 |
| 1.7 Зони загального користування   | 16 |
| 1.8 Термінологія Профілів крила  | 16 |
| РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ<br>АЕРОДИНАМІКИ ПРОФІЛІВ КРИЛА.             | 18 |
| 2.1 XFOIL  | 19 |
| 2.2 XFLR5  | 20 |
| 2.3 JavaFoil   | 21 |
| 2.4 AeroFoil   | 22 |
| 2.5 Profile  | 24 |
| РОЗДІЛ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ СЕРЕДОВИЩ<br>МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ ПРОФІЛІВ КРИЛА. | 25 |
| 3.1 Введення.  | 25 |
| 3.2 XFOIL v6.94  | 25 |
| 3.3 JavaFoil v2.21   | 28 |
| 3.4 XFLR5 v4.1   | 32 |
| 3.5 ВИМІРЮВАННЯ В АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ   | 35 |
| 3.5.1 Аеродинамічна труба  | 35 |
| 3.5.2 Налаштування тесту   | 36 |
| 3.5.3 Вимірювання  | 37 |
| 3.6 Звіт НАСА  | 38 |
| РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ   | 41 |
| 4.1 Крива підйомної сили   | 44 |
| 4.2 Крива моменту тангажу  | 45 |
| 4.3 Полярна крива  | 46 |
| РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ<br>ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ               | 48 |
| 5.1. Вхідні дані   | 49 |
| 5.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні                               | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3. Інтерполяція траєкторних даних   | 53 |
| 5.4. Розрахунок параметрів траєкторії   | 56 |
| РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ АВІАЦІЙНИХ<br>ФАХІВЦІВ                                      | 58 |
| 6.1 Розрахунок освітлення приміщення проектувальника апаратури  | 60 |
| 6.2 Вимоги щодо електробезпеки, обладнання та організації робочого<br>місця                           | 63 |
| 6.3. Розрахунок захисного заземлення робочого місця   | 64 |
|   | 67 |
| 6.4. Державні санітарні норми випромінювання в Україні, як заходи<br>захисту навколишнього середовища | 70 |
| 6.5 Правила охорони праці під час експлуатації моніторів,<br>радіолокаторів та електрообладнання.     | 75 |
| 6.6 Пожежна безпека.  | 82 |
| ВИСНОВКИ  | 85 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ  | 86 |

## ВСТУП

Аеродинаміка літаків, вертольотів та інших літальних апаратів займає ключове місце у науково-технічній діяльності багатьох науково-дослідних інститутів та лабораторій у всьому світі. Було багато організацій і виробників БПЛА, які досліджували аеродинамічні характеристики аеродинамічних профілів для досягнення кращих характеристик польоту. Їхні дослідження мали різні форми від широкого використання аеродинамічних труб у минулому до обчислення програмного моделювання профілів у сучасності. У цій дипломній роботі акцент зроблено на програмних методах.

З появою комп'ютерів ці методи все частіше використовувалися як доповнення до випробувань в аеродинамічній трубі. Сьогодні витрати на обчислення настільки низькі, що повний аналіз потенційного потоку та граничного шару профілю аеродинамічного профілю коштує значно менше, ніж один відсоток еквівалентного випробування в аеродинамічній трубі. Відповідно, сьогодні спостерігається тенденція до все більш і більш загального використання програм. Ці програми зменшують кількість необхідних випробувань у аеродинамічній трубі та дозволяють адаптувати аеродинамічні профілі для кожного конкретного застосування.

У розділі 1 розглядаються аеродинамічні характеристики профілю. Існує базовий опис геометричних змінних профілю, розподілу тиску на профілі, моменту тангажа профілю та опору, який створює профіль.

У розділі 2 Аналізується програмне забезпечення для дослідження аеродинаміки профілю крила Foil Direct Design.

Розділ 3 наведено коди панелей. Наведено короткий огляд історії його розвитку та перелік деяких кодів панелей, які в даний час використовуються найчастіше. Також детально розглядаються три різні коди панелей, які використовуються в цій дипломній роботі.

Розділ 4 присвячений порівнянню з результатами вимірювань в аеродинамічній трубі та кодами панелей.



## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОФІЛІВ КРИЛА БПЛА.

Аеродинамічний аналіз є важливою частиною будь-якого дизайну в будь-якій галузі. Оскільки це допомагає нам побачити, як працює наш продукт, якими будуть результати, і дає багато знань, перш ніж продукт буде використаний у реальному житті. Таким само чином і крила літака піддаються аналізу, як і інші частини літака, перед їх фактичним використанням для визначення їхніх характеристик.

### 1.1 Визначення профілю

Профіль визначається як тіло, призначене для забезпечення необхідної сили реакції під час руху відносно навколишнього повітря. Коли корпус - це крило літака, то можна сказати, що профіль - це будь-яка частина перерізаної площини, паралельної площині  $xz$  літака, що призначена для отримання оптимального розподілу тиску на верхній і нижній поверхнях для створення максимальної підйомної сили з мінімальними аеродинамічними витратами, такими як сила лобового опору та момент нахилу тощо. Основний вигляд і геометричні параметри профілю наведені на рисунку 1.1

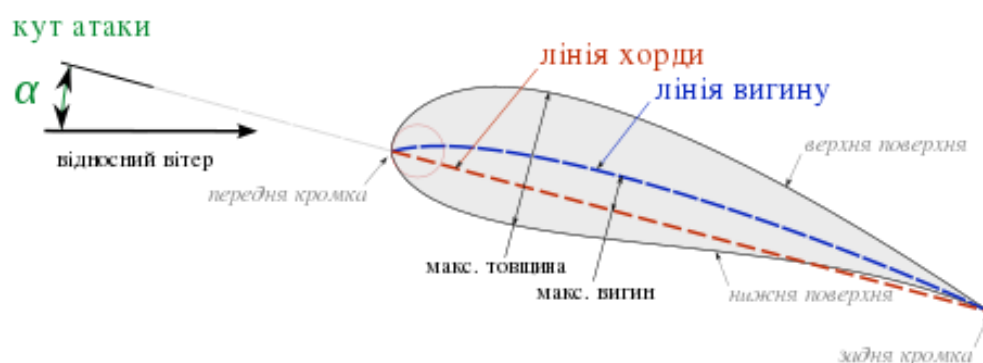


Рисунок 1.1 - Геометричні параметри профілю.

## 1.2 Аеродинамічні профілі NASA

На початку 1930-х років Національний консультативний комітет з аеронавтики (NASA) розробив серію аеродинамічних профілів, які були названі номерами, що стосуються їхніх геометричних властивостей. Спочатку це були 4, 5 - розрядні та модифіковані 4/5-розрядні аеродинамічні профілі, які генеруються за допомогою аналітичних рівнянь, що описують їхній вигин розподілу середньої товщини лінії вздовж профілю. Пізніше додалися більш складні, які були створені за допомогою теоретичних методів, а не геометричних. У 1933 році в щорічному звіті NASA було опубліковано 78 аеродинамічних профілів. Ця система NASA допомогла інженерам вибрати профіль із потрібними властивостями, дивлячись на їхні назви.

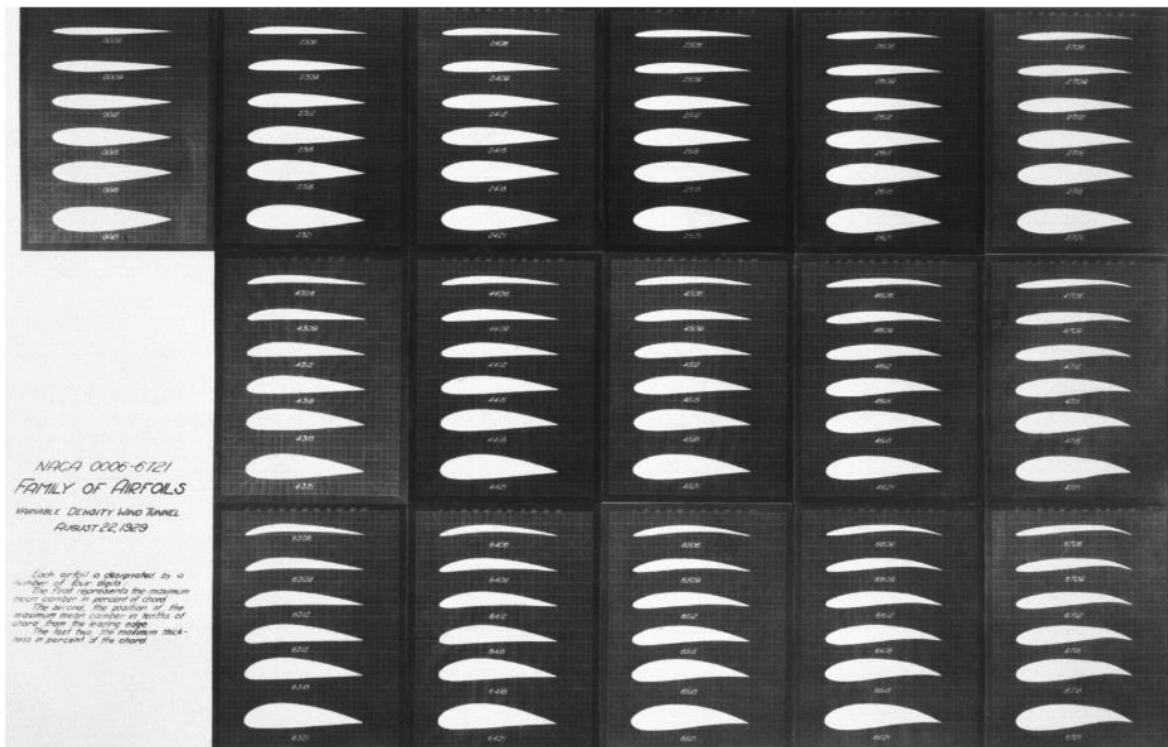


Рисунок 1.2 - Аеродинамічні профілі NASA.

### 1.3 Дизайн профілів.

Профіль має бути розроблений таким чином, щоб мати оптимальний розподіл тиску навколо нього, щоб він міг створити бажану підйомну силу. Проте проектування аеродинамічного профілю є дуже складним, трудомістким і високо бюджетним процесом, який потребує досвіду в галузі аеродинаміки. З цієї причини не кожен виробник може розробити аеродинамічний профіль з 0 власноруч, за винятком великих авіабудівних компаній, таких як Airbus і Boeing. Щоб вибрати найбільш ефективний профіль для крила, слід враховувати багато вимог.

Основні вимоги до профілю:

- максимальний коефіцієнт підйому,
- правильний ідеальний або проектний коефіцієнт підйому ( $C_{ld}$  або  $C_{li}$ ),
- найнижчий мінімальний коефіцієнт опору ( $C_{dmin}$ ),
- найвищий коефіцієнт підйомної сили ( $(C_l/C_d)_{max}$ ),
- найвищий нахил кривої підйому ( $C_{l\alpha max}$ ),
- найнижчий (найближчий до нуля; негативний або позитивний) коефіцієнт моменту кидання ( $C_m$ ),
- належна якість стійла в зоні стійла (перепади повинні бути м'якими, а не різкими),
- конструктивно посилений.
- Профіль не повинен бути настільки тонким, щоб всередину не можна було помістити лонжерони, і таким, щоб поперечний переріз був технологічним.

### 1.4 Вибір профілю

У процесі вибору профілю крила ми не дивимось лише на геометрію профілю чи розподіл його тиску. Натомість ми перевіряємо робочі результати аерофоліса, які є більш інформативними, щоб задовольнити вимоги до дизайну. Є кілька графіків, які ілюструють характеристики кожного профілю в порівнянні з іншими профілями в процесі вибору профілю крила.

Ми оцінюємо продуктивність і характеристики профілю, дивлячись на наступні критерії:

- Варіації коефіцієнта підйому в залежності від кута атаки
- Варіації коефіцієнта моменту кидання в залежності від кута атаки
- Варіації коефіцієнта моменту нахилу в порівнянні з коефіцієнтом підйомної сили
- Варіації коефіцієнта лобового опору в порівнянні з коефіцієнтом підйомної сили
- Варіації підйомної сили та кута атаки .

### **1.5 2D аналіз профіля крила**

Крило — це поверхня, призначена для отримання підйомної сили від повітря, через яке вона рухається. Таким чином, можна стверджувати, що будь-яка частина літака, яка перетворює опір повітря в підйомну силу, є аеродинамічним профілем. Профіль звичайного крила є чудовим зразком профілю.

Різниця в кривизні верхньої та нижньої поверхонь крила створює підйомну силу. Повітря, що тече над верхньою поверхнею крила, має досягати задньої кромки крила за такий самий час, як повітря, що тече під крилом. Для цього повітря, що проходить над верхньою поверхнею, рухається з більшою швидкістю, ніж повітря, що проходить під крилом, через більшу відстань, яку йому потрібно пройти вздовж верхньої поверхні. Ця підвищена швидкість, згідно з принципом Бернуллі, означає відповідне зменшення тиску на поверхню. Таким чином, між верхньою та нижньою поверхнями крила створюється різниця тиску, що змушує крило підніматися вгору в напрямку нижчого тиску.

Здійснюючи аеродинамічний аналіз, двовимірний аеродинамічний аналіз низької точності дозволяє отримати дуже швидкі та доволі точні результати. Аналіз дає змогу передбачити компоненти підйомної сили та моменту кидання та розрахувати опір.

нескінченне крило та такі ефекти, як перехресний потік або вихори на

вершині, таким чином, нехтуються. 2D моделювання використовується для аналізу (та/або проектування) аеродинамічних профілів.

Метод моделювання є одним із теорії двовимірного аеродинамічного аналізу. Можливе рішення потоку загального перетину крила моделюється шляхом дискретизації контуру поверхні за допомогою полів сингулярності. Кожна панель є прямолінійним відрізком між точками контуру поверхні. Уздовж панелі застосовується вихровий розподіл лінійно змінної сили з парою постійних значень у кожній останній точці. Ця сила розподілу змінюється від панелі до панелі, але значення останньої точки мають бути послідовними. Оскільки встановлено геометрію секції та умови вільного потоку, потрібно буде визначити рівняння граничних умов, щоб визначити необхідну силу розподілу в кінцевих точках панелі для точної моделі проблеми.

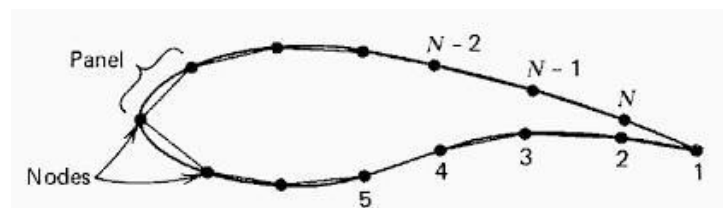


Рисунок 1.3 - Панельний метод на аеродромі

У програмах XFOIL і XFLR5 використовується метод двовимірної панелі з додатковою моделлю граничного шару на основі розподілу джерела для моделювання в'язкого впливу на потенційний потік.

Аеродинамічний профіль — це конструкція з вигнутими поверхнями, розроблена для забезпечення найбільш сприятливого співвідношення підйомної сили та лобового опору в польоті, яка в основному використовується як основна форма киль, крил і оперення більшості літаків. профіль — це конструкція поперечного перерізу крила, лопаті або вітрила. Підйомна сила — це така складова, що сила перпендикулярна до напрямку руху, а опір — це компонента, паралельна напрямку руху. Подібна ідея використовується при проектуванні суден на підводних крилах, де в якості робочої рідини використовується вода. Тіло, яке має форму

аеродинамічного профілю, рухається в рідині, створює аеродинамічну силу. Конструкція крила залежить від ваги, швидкості і призначення літака і в основному залежить від аеродинамічних характеристик.

## 1.6 3D Аналіз

Тривимірний аеродинамічний аналіз високої точності на основі обчислювальної гідродинаміки. Область обчислювальної гідродинаміки (CFD) із розвитком автоматизованого проектування (CAE) стала областю, яка використовується для аналізу потоків рідини. Програмний інструмент використовує математичну модель фізичного стану та чисельний метод із рівняннями, такими як рівняння Нав'є-Стокса, для аналізу рідини в CFD. Програми CFD можуть виконувати ітераційне чисельне розв'язування рівнянь, які визначають рух потоку, наприклад, рівнянь Нав'є-Стокса та керівних рівнянь за допомогою аналізу кінцевих елементів (FEA). Оскільки техніка рішення FEA використовується в обчислювальній гідродинаміці, вона має багато процесів, які включають створення сітки.

Основними цілями аналізу CFD є:

- Отримання підйомної сили, лобового опору та загального моменту геометрії
- Вивчення поведінки крила
- Отримання коефіцієнтів шарнірного моменту
- Візуалізація розподілу тиску на поверхні літака
- Аналіз впливу керуючих поверхонь
- Отримання коефіцієнтів стійкості

Щоб отримати всі ці результати, аналізи вирішують такими методами:

- Моделювання САПР літака для генерації сітки
- Визначення правильної техніки сітки як поверхні, так і об'єму відповідно до характеристик потоку
- Налаштування правильних налаштувань програми та моделі турбулентності
- Створення методу розв'язування

Обчислювальна гідродинаміка (CFD) — це інструмент із дивовижною

гнучкістю, точністю та широтою застосування. Але серйозний CFD, який надає інформацію, яка допоможе вам оптимізувати ваші проекти, може бути недоступним, якщо ви ретельно не виберете програмне забезпечення. Щоб отримати серйозні результати CFD, вам потрібне серйозне програмне забезпечення. Ansys CFD виходить за рамки якісних результатів і забезпечує точні кількісні прогнози взаємодії рідин і компромісів. Ця інформація розкриває несподівані можливості для вашого продукту — можливості, які можуть упустити навіть досвідчені інженерні аналітики.

### **1.7 Зони загального користування**

Існує багато застосувань CFD, але 5 із них є критично важливими, а саме:

- Авіація
- Турбулентність
- Взаємодія зі структурами
- Термічний аналіз
- Обертова техніка

Хоча розчин Нав'є-Стокса достатній для течії в ламінарному режимі, збільшення рейнольдса викликає зміну характеру течії. У такому режимі течії з часом виникають локальні коливання. Для більш точного аналізу рідини в цьому режимі використовується формула усередненого за Рейнольдсом Нав'є-Стокса (RANS). Тому для змінних турбулентності, таких як кінетична енергія турбулентності, додаються додаткові рівняння. Теорія функції стінки використовується для більш детального аналізу навколо межі. при використанні формулювання RANS в аналізі CFD.

### **1.8 Термінологія Профілів крила**

Аерокрило складається з різних форм поперечного перерізу. Для конструкції крил літаків використовуються різні види аерокрил. Щоб розрізняти різні форми аерокрила, визначаються його властивості та використовуються спеціальні терміни. Термінологія. Аерокрило може мати багато форм поперечного перерізу. Терміни, пов'язані з аерокрилами, наступні.

- Хорда: хорда може бути визначена як відстань між передньою кромкою в передній частині крила, яка є точкою і має максимальну кривизну, і задньою кромкою в задній частині аерокрила, тобто точкою з максимальною кривизною вздовж ліній хорди. Це відстань між переднім і заднім краями, виміряна вздовж лінії хорди.
- Лінія хорди – це пряма лінія, що з'єднує передню та задню кромки.
- Передня кромка: це крайова частина крила, яка першою потрапляє на частинки повітря.
- Нижня поверхня: Нижня поверхня — це поверхня з вищим статичним тиском, яка також відома як поверхня тиску. Це поверхня крила між передньою та задньою кромками на нижній стороні.
- Лінія середньої хорди: це лінія, що з'єднує передню та задню кромки крила на однаковій відстані від верхньої та нижньої поверхонь.
- Максимальний розвал: це максимальна відстань середньої лінії розвалу від лінії хорди.
- Максимальна товщина: це максимальна відстань нижньої поверхні від верхньої поверхні.
- Задня кромка: це оброблена частина крила, яка в останню чергу торкається частинок повітря.
- Верхня поверхня: верхня поверхня пов'язана з високою швидкістю та низьким статичним тиском.

Коли крило рухається в рідині, для опису поведінки використовуються такі терміни:

- Аеродинамічний центр: центр, де момент нахилу не залежить від коефіцієнта підйомної сили та кута атаки.
- Центр тиску: центр, де момент нахилу дорівнює нулю.
- Кут атаки(КА): Кут атаки формується між опорною лінією на тілі та зустрічним потоком.
- Момент нахилу: Момент або крутний момент, що створюється аеродинамічною силою на крилі, відомий як момент нахилу.

Коефіцієнт підйомної сили — це співвідношення між підйомною силою,



створюваною піднімальним тілом, до густини рідини, швидкості рідини та відповідної базової площі.

Використовуються такі види аерокрил:

- Симетричне крило:

Це крило має ідентичні верхню та нижню поверхні, які не створюють підйомної сили при нульовому Куті атаки, так що лінія хорди та середня лінія розвалу є однаковими. У більшості легких вертольотів з лопатями несучого гвинта ці крила підходять добре.

- Несиметричне крило:

Несиметрична аерокрила має різні верхню та нижню поверхні, так що лінія хорди розташована зверху з великою кривизною. Цей профіль також відомий як вигнутий профіль, і він має різні верхню та нижню поверхні. Лінія хорди та лінія камери несиметричного крила відрізняються, і переваги цього типу полягають у кращому коефіцієнті підйомної сили та характеристиках звалювання, що призводить до створення корисної підйомної сили за нульових кутів атаки.

## РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІКИ ПРОФІЛІВ КРИЛА.

Було розроблено ряд програм для аналізу та проектування аеродинамічного профілю. Коди зазвичай включають аналіз граничного шару, щоб можна було моделювати в'язкі ефекти. Професор Річард Епплер зі Штутгартського університету розробив код PROFILE, частково за фінансування NASA, який став доступним на початку 1980-х років. Незабаром за цим послідував код XFOIL професора Массачусетського технологічного інституту Марка Дрели. І PROFILE, і XFOIL містять коди двовимірної панелі з поєднаними кодами граничного шару для роботи з аналізом аеродинамічного профілю.

Список програм для аналізу аеродинаміки профілів:

- XFOIL
- XFLR5 (похідна XFOIL, заснована на тому ж алгоритмі, відкритий код)
- JavaFoil
- Aerofoil
- PROFILE

### 2.1 XFOIL

Xfoil, ймовірно, найвідоміший із наведених нижче кодів. Він датується 1986 роком і був написаний доктором Марком Дрелом, професором аеродинаміки в Массачусетському технологічному інституті. Він використовує панельний метод високого порядку та метод взаємодії в'язкої/нев'язкої рідини для оцінки опору, переходу та розділення граничного шару. Xfoil широко використовується в авіаційній промисловості і, загалом кажучи, є надійним інструментом, хоча, на мою думку, він страждає від поганого інтерфейсу користувача порівняно з багатьма іншими кодами..

Кінцева товщина основи задньої кромки моделюється за допомогою вихідної панелі. Рівняння замикаються явною умовою Кутти. Розрахунок нев'язкості високої роздільної здатності.

для виконання панелей на робочій станції RISC потрібно лише декілька секунд. Наступні робочі точки для того самого профілю, але з різними кутами атаки, виявляються майже миттєво.

Корекція стисливості Кармана-Цієна також присутня, що дозволяє добре прогнозувати профіль аж до дозвукових умов. Теоретична основа поправки Кармана-Цієна дуже погано працює в надзвуковому потоці, і в результаті точність швидко погіршується при вході в транс звуковий режим.

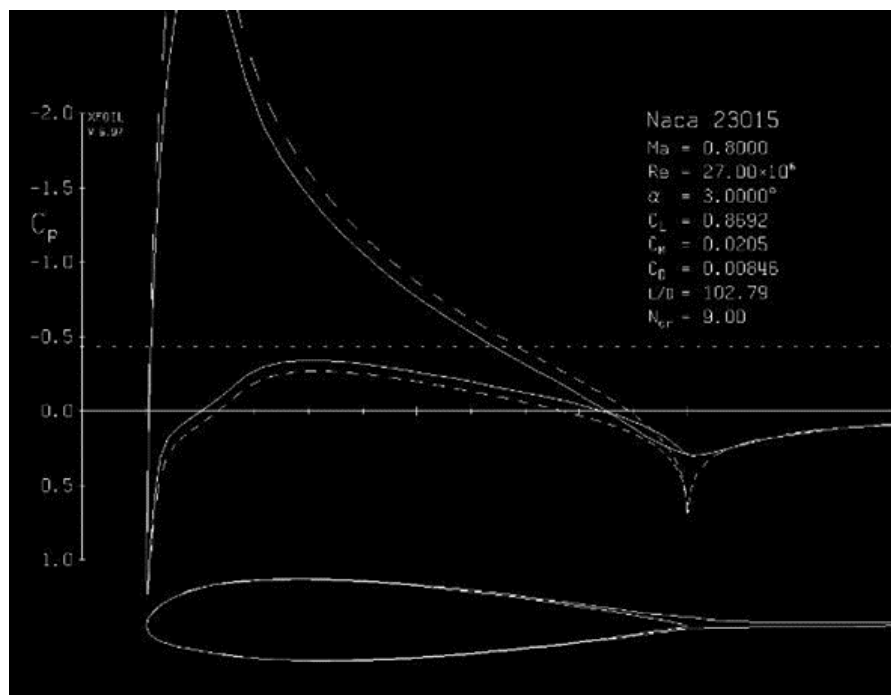


Рисунок 2.1 - Інтерфейс програми XFOIL

## 2.2 XFLR5

XFLR5 є новішою програмою, ніж більшість інших, розглянутих у цьому розділі, і постійно доробляється з 2003 року. Вона додає до точної кодової бази XFOIL графічний інтерфейс користувача та повні інструменти проектування та аналізу крил і літальних апаратів на основі теорії підйомної лінії, метод вихрової решітки або метод 3D панелі. Код передбачає лінійну незалежність між в'язким і нев'язким аналізами, так що в'язкі 2D-дані додаються до нев'язких 3D-результатів для отримання більш реалістичних результатів.

Програми XFLR5 і Xfoil використовують однакову теорію. Тому вихідні дані XFLR5 2D мають бути дуже схожі на XFOIL.

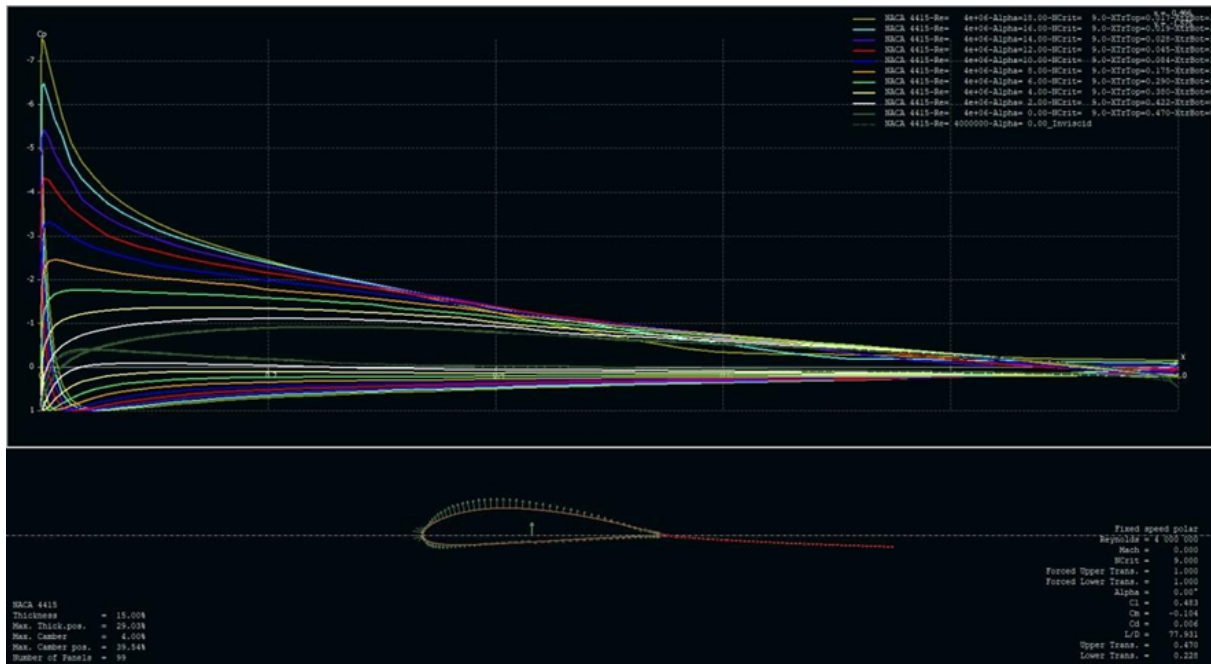


Рисунок 2.2 - XFLR5

Результат методу панелі складається з розподілу тиску та поляр, останні визначають коефіцієнт підйому, коефіцієнт лобового опору, коефіцієнт моменту та розташування переходів на верхній і нижній поверхні.

## 2.3 JavaFoil

JavaFoil — це просте та легке у використанні програмне забезпечення, розроблене німецьким аеродинаміком доктором Мартіном Хепперле. Програма виконує аналіз потенційного потоку, використовуючи панельний метод вищого порядку, у якому завихреність змінюється лінійно вздовж кожної панелі, що представляє частину аеродинамічного профілю. Потім застосовується інтегральний метод прикордонного шару з використанням окремого модуля аналізу прикордонного шару. Починаючи з точки застою, метод розв'язує рівняння прикордонного шару. Згідно з інформацією на веб-сайті розробника, рівняння та критерії переходу та поділу були розроблені доктором Епплером. Він забезпечує потужний генератор крила.

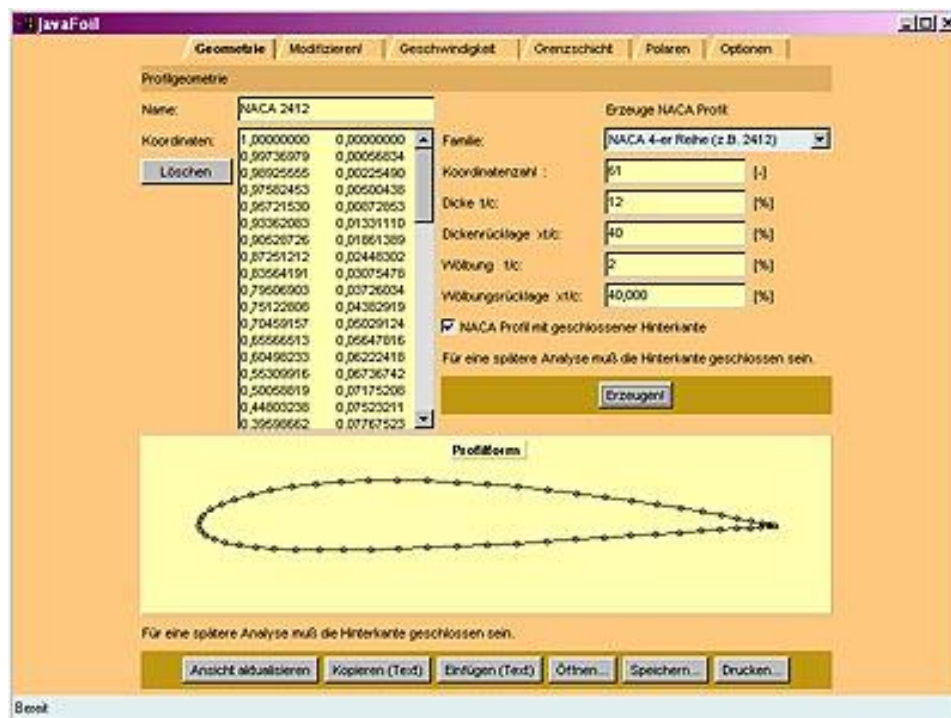


Рисунок 2.3 - Інтерфейс Javafoil.

JavaFoil реалізує класичний панельний метод з лінійно змінним розподілом завихреності. Це щось середнє між методами панелей у XFOIL (постійна завихреність на панель) і кодом PROFIL Епплера (параболічна зміна завихреності). Отже, отримана система рівнянь складається з матриці розміром (кількість панелей +1)<sup>2</sup> і двох правих частин. Вони стосуються кутів атаки 0° і 90° і можуть бути ефективно розв'язані для двох відповідних розподілів завихреності. Розподіл завихреності для будь-якого довільного кута атаки потім виводиться з цих двох рішень.

Проте у цій програмі немає взаємодії з прикордонним шаром, як у XFOIL.

## 2.4 AeroFoil

Програмне забезпечення AeroFoil було розроблено паном Дональдом Рейдом, професійним інженером-ядерником, який має досвід роботи в аерокосмічній інженерії, програма « має бути найбільш «зручною» у своєму типі ». Програмне забезпечення використовує метод вихрових панелей у поєднанні з інтегральними рівняннями граничного шару для розрахунку аеродинамічних властивостей аеродинамічних профілів. Це дозволяє порівнювати до трьох аеродинамічних профілів одночасно.

Приклади перевірки наведено на веб-сайті та показують, що прогнози, зроблені програмою, добре узгоджуються з експериментом.

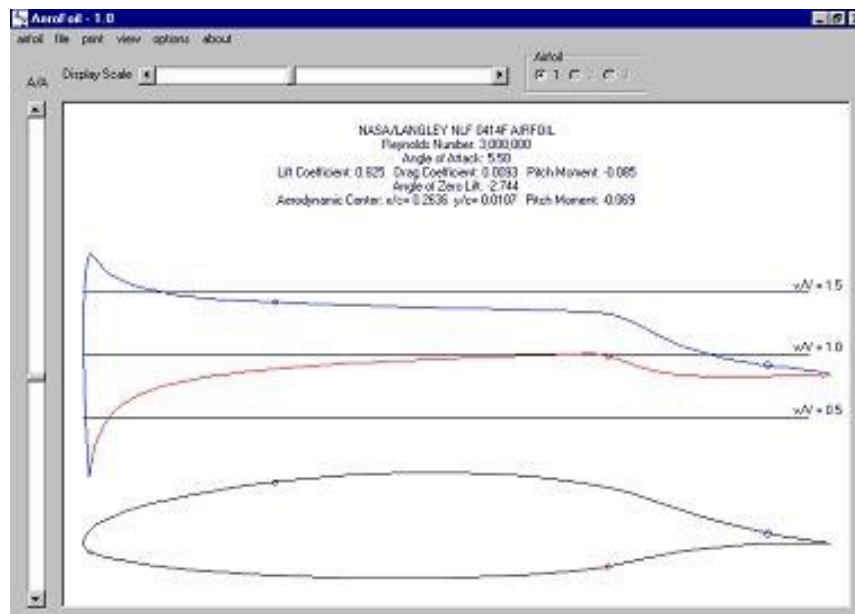


Рисунок 2.4 - Інтерфейс програми AeroFoil

AeroFoil може адаптувати конкретні області аеродинамічного профілю відповідно до бажаних параметрів конструкції. Жодне інше програмне забезпечення для інверсного проектування не є таким простим у використанні.

Обчислення виконуються або при постійній швидкості, як в аеродинамічній трубі, або в одній із двох симуляцій фактичних умов аеродинамічного профілю під час польоту. Профіль визначається легкодоступними координатними даними, створеними за допомогою методів NASA, простою моделлю перетворення або згенерованими з визначеного користувачем профілю швидкості за допомогою так званого інверсного проектування.

## 2.5 Profile

Програмне забезпечення PROFILE було написано доктором Річардом Еплером і Деном Сомерсом, аеродинаміком-консультантом. Програма використовує метод конформного відображення для розробки аеродинамічних профілів для низькошвидкісних застосувань із заданими характеристиками розподілу швидкості.

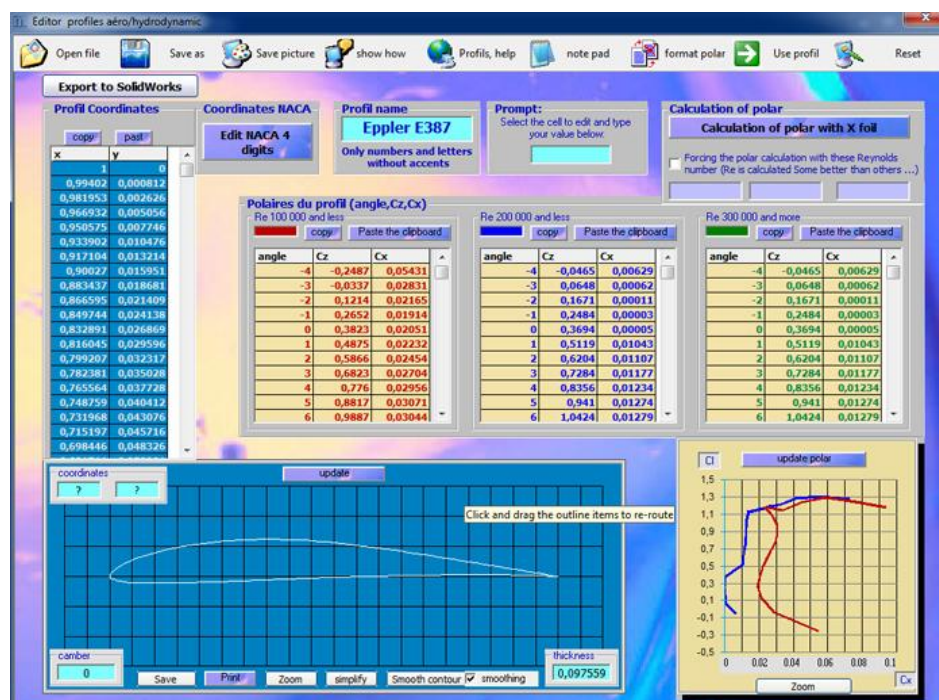


Рисунок 2.5 - Інтерфейс програми Profile.

## РОЗДІЛ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ СЕРЕДОВИЩ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ ПРОФІЛІВ КРИЛА.

### 3.1 Введення.

У цьому я порівняв три різні найбільш популярні програми з наведених зверху, які оприлюднені для всіх і можуть працювати в Інтернеті або безкоштовно завантажуватися на комп'ютер. XFOIL як один із найпоширеніших кодів панелей, XFLR5, який є переписаною програмою XFOIL на мову C/C++ на основі тих самих алгоритмів, тому було цікаво дослідити, чи результати однакові чи ні. JavaFoil — ще одне безкоштовне програмне забезпечення, яке можна використовувати онлайн або завантажити на комп'ютер.

### 3.2 XFOIL v6.94

XFOIL — це програма для проектування та аналізу дозвукових ізольованих аеродинамічних профілів. Він складається з набору програм, керованих меню, які виконують різні корисні функції. XFOIL 1.0 був написаний Марком Дрелою, професором аерокосмічної інженерії Массачусетського технологічного інституту, у 1986 році. З того часу програма зазнала численних змін і оновлень. Вихідним кодом XFOIL є Fortran 77, і програму випущено за GPU General Public License. Версія 6.94, яка використовується в моїй дипломній роботі, була випущена 18 грудня 2001 року.

Після запуску програми з'являється початкове вікно. Він містить меню верхнього рівня зі списком команд із коротким описом. Початкове вікно показано на рисунку 3.2.



```

=====
XFOIL Version 6.94
Copyright (C) 2000 Mark Drela, Harold Youngren

This software comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY,
subject to the GNU General Public License.

Caveat computer
=====
File xfoil.def not found

QUIT      Exit program

.OPER     Direct operating point(s)
.MDES     Complex mapping design routine
.QDES     Surface speed design routine
.GDES     Geometry design routine

SAVE f    Write airfoil to labeled coordinate file
PSAU f    Write airfoil to plain coordinate file
ISAU f    Write airfoil to ISES coordinate file
MSAU f    Write airfoil to MSES coordinate file
REUE     Reverse written-airfoil node ordering

LOAD f    Read buffer airfoil from coordinate file
NACA i    Set NACA 4.5-digit airfoil and buffer airfoil
INTE     Set buffer airfoil by interpolating two airfoils
NORM     Buffer airfoil normalization toggle
XYCM rr  Change CM reference location, currently 0.25000 0.00000

BEND     Display structural properties of current airfoil

PCOP     Set current-airfoil panel nodes directly from buffer airfoil points
PANE     Set current-airfoil panel nodes < 140 > based on curvature
.PPAR    Show/change paneling

.PPOP    Plotting options

WDEF f    Write current-settings file
RDEF f    Reread current-settings file
NAME s    Specify new airfoil name
NINC     Increment name version number

Z        Zoom      | <available in all menus>
U        Unzoom   |

XFOIL   c>

```

Рисунок 3.2 - Початкове вікно програми XFOIL

Команда "?" відображає список відповідних команд у заданому меню або підменю. Натискання клавіші "enter" викликало повернення з підменю до верхнього меню в структурі дерева програми, а команда "quit" закриває програму XFOIL.

Першим кроком є вибір розрахованого профілю за допомогою команди «NACA», а потім введення 4- або 5-значного позначення профілю

Xfoil також дозволяє імпортувати координати профілю з файлу. Координати у файлі мають йти від заднього краю вздовж верхньої поверхні до переднього краю та назад до заднього краю вздовж нижньої поверхні. Нульову координату можна використовувати лише один раз.

На наступному кроці за допомогою команди "ppar" відкривається нове вікно під назвою «Параметри панелей», яке показує поточний профіль із деякими параметрами. Це вікно показано на рисунку 3.3. Ці параметри (кількість вузлів панелі тощо) можна змінити відповідно до запитів користувача в цьому підменю.

У верхньому меню за допомогою команди "oper" (програма для прямого обчислення) відкривається інше підменю, де в програмі вводяться дані. Є команди, які прописують параметри розрахунку: активація в'язкого

режиму, вхідні значення, такі як число Рейнольдса, початковий і кінцевий кут атаки, приріст кута атаки під час розрахунку, тут встановлюється ім'я файлу для результатів, які відображаються. на.

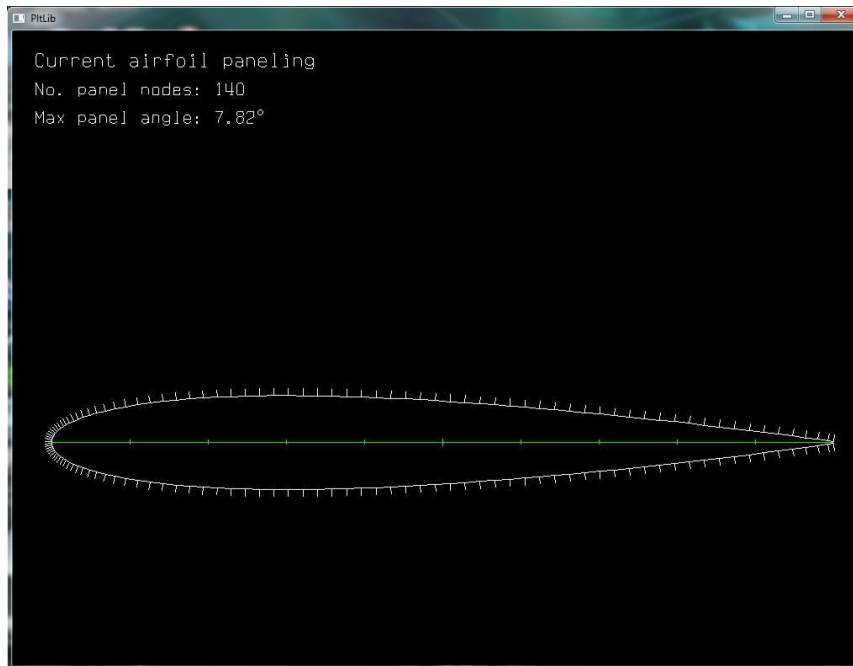


рисунок 3.3 - Вікно параметрів панелей XFOIL

XFOIL Version 6.94  
 Calculated polar for: NACA 0012  
 1 1 Reynolds number fixed Mach number fixed  
 xtrf = 1.000 (top) 1.000 (bottom)  
 Mach = 0.000 Re = 0.300 e 6 Ncrit = 9.000

| alpha   | CL      | CD      | CDp     | CM      | Top_Xtr | Bot_Xtr |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| -14.750 | -1.0973 | 0.06530 | 0.06082 | -0.0328 | 1.0000  | 0.0281  |
| -14.500 | -1.1133 | 0.06004 | 0.05538 | -0.0352 | 1.0000  | 0.0282  |
| -14.250 | -1.1248 | 0.05569 | 0.05086 | -0.0366 | 1.0000  | 0.0284  |
| -14.000 | -1.1325 | 0.05205 | 0.04708 | -0.0373 | 1.0000  | 0.0286  |
| -13.750 | -1.1378 | 0.04893 | 0.04383 | -0.0374 | 1.0000  | 0.0289  |
| -13.500 | -1.1414 | 0.04620 | 0.04095 | -0.0371 | 1.0000  | 0.0292  |
| -13.250 | -1.1439 | 0.04376 | 0.03835 | -0.0362 | 1.0000  | 0.0296  |
| -13.000 | -1.1452 | 0.04154 | 0.03598 | -0.0349 | 1.0000  | 0.0300  |
| -12.750 | -1.1441 | 0.03957 | 0.03385 | -0.0333 | 1.0000  | 0.0305  |
| -12.500 | -1.1422 | 0.03771 | 0.03183 | -0.0313 | 1.0000  | 0.0311  |
| -12.250 | -1.1390 | 0.03599 | 0.02993 | -0.0290 | 1.0000  | 0.0317  |
| -12.000 | -1.1340 | 0.03449 | 0.02823 | -0.0266 | 1.0000  | 0.0324  |
| -11.750 | -1.1252 | 0.03326 | 0.02678 | -0.0246 | 1.0000  | 0.0331  |
| -11.500 | -1.1148 | 0.03104 | 0.02439 | -0.0230 | 1.0000  | 0.0341  |
| -11.250 | -1.0998 | 0.02968 | 0.02302 | -0.0218 | 1.0000  | 0.0351  |
| -11.000 | -1.0839 | 0.02865 | 0.02195 | -0.0205 | 1.0000  | 0.0362  |
| -10.750 | -1.0674 | 0.02758 | 0.02078 | -0.0192 | 1.0000  | 0.0373  |
| -10.500 | -1.0501 | 0.02653 | 0.01960 | -0.0179 | 1.0000  | 0.0386  |
| -10.250 | -1.0319 | 0.02562 | 0.01854 | -0.0166 | 1.0000  | 0.0397  |
| -10.000 | -1.0155 | 0.02405 | 0.01689 | -0.0152 | 1.0000  | 0.0414  |
| -9.750  | -0.9971 | 0.02316 | 0.01602 | -0.0141 | 1.0000  | 0.0431  |
| -9.500  | -0.9776 | 0.02245 | 0.01526 | -0.0130 | 1.0000  | 0.0451  |
| -9.250  | -0.9576 | 0.02174 | 0.01445 | -0.0118 | 1.0000  | 0.0471  |
| -9.000  | -0.9392 | 0.02069 | 0.01332 | -0.0104 | 1.0000  | 0.0491  |
| -8.750  | -0.9214 | 0.01976 | 0.01242 | -0.0090 | 1.0000  | 0.0516  |
| -8.500  | -0.9011 | 0.01918 | 0.01182 | -0.0078 | 1.0000  | 0.0545  |
| -8.250  | -0.8798 | 0.01873 | 0.01127 | -0.0066 | 1.0000  | 0.0574  |
| -8.000  | -0.8639 | 0.01767 | 0.01027 | -0.0048 | 1.0000  | 0.0613  |
| -7.750  | -0.8440 | 0.01714 | 0.00972 | -0.0034 | 1.0000  | 0.0653  |
| -7.500  | -0.8244 | 0.01657 | 0.00910 | -0.0019 | 1.0000  | 0.0697  |
| -7.250  | -0.8060 | 0.01592 | 0.00850 | -0.0003 | 1.0000  | 0.0757  |
| -7.000  | -0.7856 | 0.01548 | 0.00801 | 0.0010  | 1.0000  | 0.0817  |
| -6.750  | -0.7671 | 0.01484 | 0.00744 | 0.0026  | 1.0000  | 0.0902  |
| -6.500  | -0.7476 | 0.01432 | 0.00695 | 0.0041  | 1.0000  | 0.1000  |
| -6.250  | -0.7275 | 0.01387 | 0.00653 | 0.0055  | 1.0000  | 0.1120  |
| -6.000  | -0.7077 | 0.01340 | 0.00613 | 0.0069  | 1.0000  | 0.1272  |

Рисунок 3.4 - Файл вихідних даних XFOIL із результатами

### 3.3 JavaFoil v2.21

JavaFoil — ще одна обчислювальна програма для аналізу аеродинамічних профілів у дозвуковому потоці. Вона була написаний доктором Мартіном Хепперле, випускником Штутгартського університету, як CalcFoil з використанням мови програмування «С», а пізніше переписаний на мову «Java» під сучасною назвою JavaFoil. Програма є безкоштовним програмним забезпеченням, яке можна використовувати у веб-браузерах або завантажити на свій комп'ютер.

Версія 2.21, яка використовується в цій дипломній роботі, була випущена 1 березня 2014 року.

Основною метою JavaFoil є визначення характеристик підйомної сили, опору та моменту аеродинамічних профілів. Програма спочатку обчислить розподіл швидкості на поверхні профілю. Для цього використовується модуль аналізу потенційного потоку, який базується на методі панелі вищого порядку (лінійний змінний розподіл завихреності). Ця локальна швидкість і місцевий тиск пов'язані рівнянням Бернуллі. Щоб знайти підйомну силу та коефіцієнт моменту нахилу, розподіл тиску можна проінтегрувати вздовж поверхні.

Далі JavaFoil обчислить поведінку шару потоку поблизу поверхні профілю (граничний шар). Модуль аналізу прикордонного шару (так званий інтегральний метод) крокує по верхній і нижній поверхнях профілю, починаючи з точки застою. Він розв'язує набір диференціальних рівнянь, щоб знайти різні параметри прикордонного шару. Потім дані граничного шару використовуються для розрахунку опору аеродинамічного профілю на основі його властивостей на задній кромці. Обидва етапи аналізу повторюються для кожного кута атаки, що дає повну полярну форму профілю для одного фіксованого числа Рейнольдса.

Програма також має деякі обмеження, наприклад, неможливо аналізувати аеродинамічні профілі в надзвуковому потоці. JavaFoil аналізує профілі в нестисливому потоці, що означає числа Маха нижче  $M = 0,25$ .

Користувальницький інтерфейс програми розділений на кілька карток, кожна з яких містить елементи інтерфейсу для певного завдання:

У цій дипломній роботі описується перше вікно параметрів, оскільки воно впливає на всі інші вікна. Для обчислень необхідно встановити такі умови, як число Маха, густина повітря або швидкість звуку.

Вікно Geometry використовується для визначення геометрії профілю, який розраховується. Це вікно показує перелік координат  $x$  і  $y$  і малює форму профілю. Вигляд цього вікна показано на рисунку 2.5. JavaFoil дозволяє експортувати або імпортувати геометрію аеродинамічного профілю в декілька типів файлів, наприклад \*.txt. Також можливий імпорт сканованого зображення профілю.

Вкладка Modify може виконувати різні модифікації геометрії профілю.

Вкладка «Швидкість» показує розподіл швидкості навколо профілю, встановлюючи початковий кут атаки, кінцевий кут атаки та крок.

Вкладка Flowfield візуалізує потік навколо профілю різними способами. Натискання кнопки «Проаналізуй!» виконує аналіз профілю профілю для заданого кута атаки.

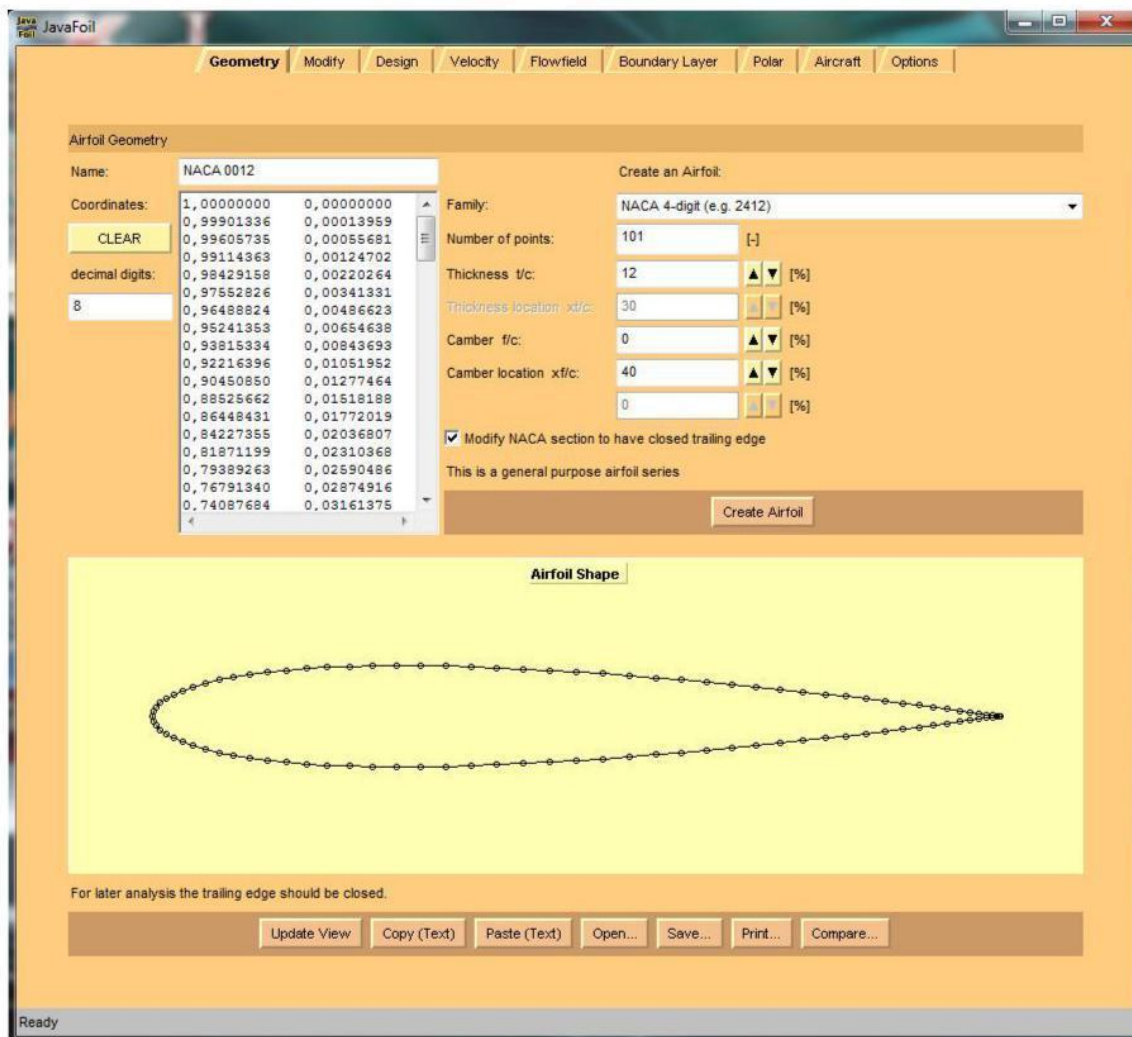


Рисунок 3.5 - Вікно геометрії JavaFoil

Полярна карта показує аеродинамічну полярну криву. На цій картці внизу необов'язково змінювати параметри «Модель зупинки» та «Модель переходу», які передбачають, коли відбудеться перехід від ламінарного потоку до турбулентного. Ця картка показана на малюнку 2.6.



Рисунок 3.6 - JavaFoil Polar

Дані з JavaFoil можна легко експортувати до програми, наприклад Microsoft Excel, за допомогою кнопки в нижній частині вікна з назвою «Копіювати (текст)». Також є можливість роздрукувати результати.

### 3.4 XFLR5 v4.1

Іншою найбільш відомою програмою панелі в цій дипломній роботі це XFLR5. Алгоритми аналізу, реалізовані в XFLR5, точно такі ж, як і в оригінальному коді XFOIL. Програму було перекладено з оригінального вихідного коду Fortran на мову C/C++, а іншою основною метою створення цієї програми було створення більш зручного для користувача інтерфейсу. Як і оригінальний XFOIL, цей проект розроблено та випущено відповідно до принципів GPL (Загальна публічна ліцензія).

У версії v2.00 додано можливості аналізу крил. Остання версія v4.00 представила метод тривимірної панелі для крил і літаків, включаючи варіанти моделювання фюзеляжів.

Програма містить чотири різні «програми». У цій частині описано додаток під назвою «Програми прямого аналізу крила», який використовувався в цій дипломній роботі для розрахунку аеродинамічних характеристик профілю NASA 0012 при  $Re = 3e5$  для різних кутів атаки.

Після запуску програми та застосування для прямого аналізу необхідно завантажити розраховану частину. XFLR5 може завантажувати будь-які аеродинамічні профілі з файлу даних, який містить координати аеродинамічних профілів, або в головному меню, натиснувши «Дизайн», можна встановити 4- або 5-значний аеропрофіль NASA. Необхідно встановити кількість панелей уздовж поверхні профілю.

Розрахунок аеродинамічних характеристик виконується клацанням «Polars» і «Run Batch Analysis». Для обчислення необхідно ввести змінні: перше й останнє число Рейнольдса з приростом, перший і останній кут атаки з приростом, число Маха тощо. Вікно пакетного аналізу показано на рисунку 3.7.



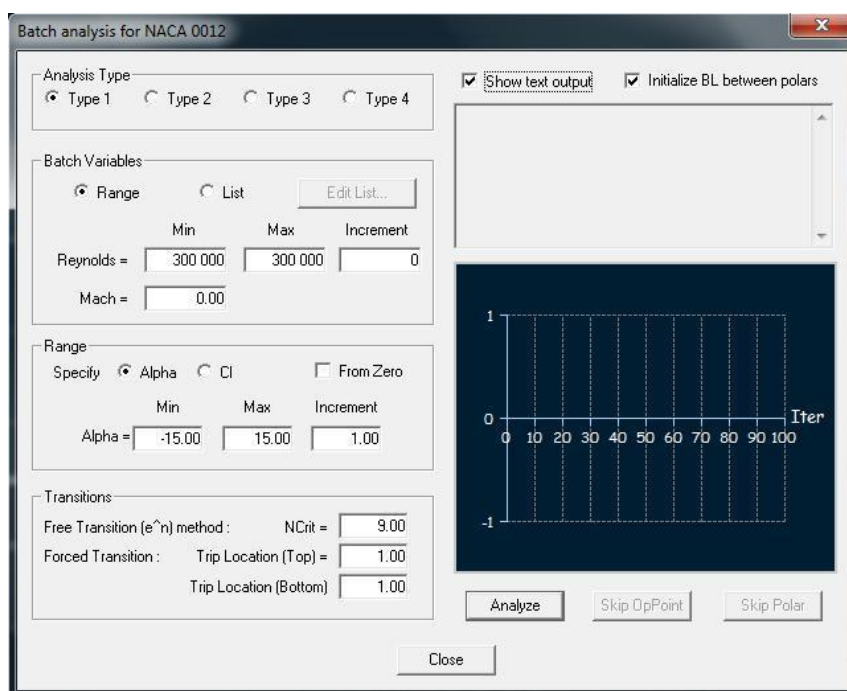


Рисунок 3.7 - Вікно пакетного аналізу

Коли всі дані встановлені клацанням кнопки «Аналіз», починається обчислення.

На рисунку 3.8 показано розподіл тиску вздовж поверхні профілю для різних кутів атаки зі значеннями  $c_{d\alpha}$ ,  $c_{d\alpha}$  і  $c_{m\alpha}$  при заданому куті атаки  $\alpha$ .

На рисунку 3.9 показано криву підйому, криву моменту тангажу та полярну криву



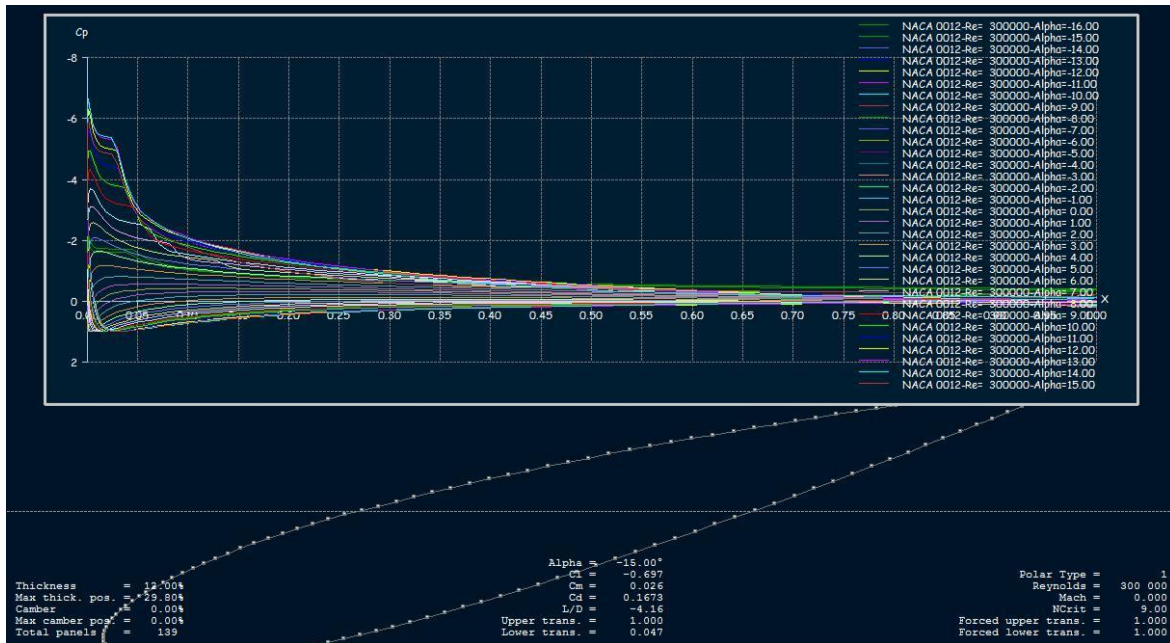


Рисунок 3.8 - XFLR5 Розподіл тиску вздовж поверхні профілю

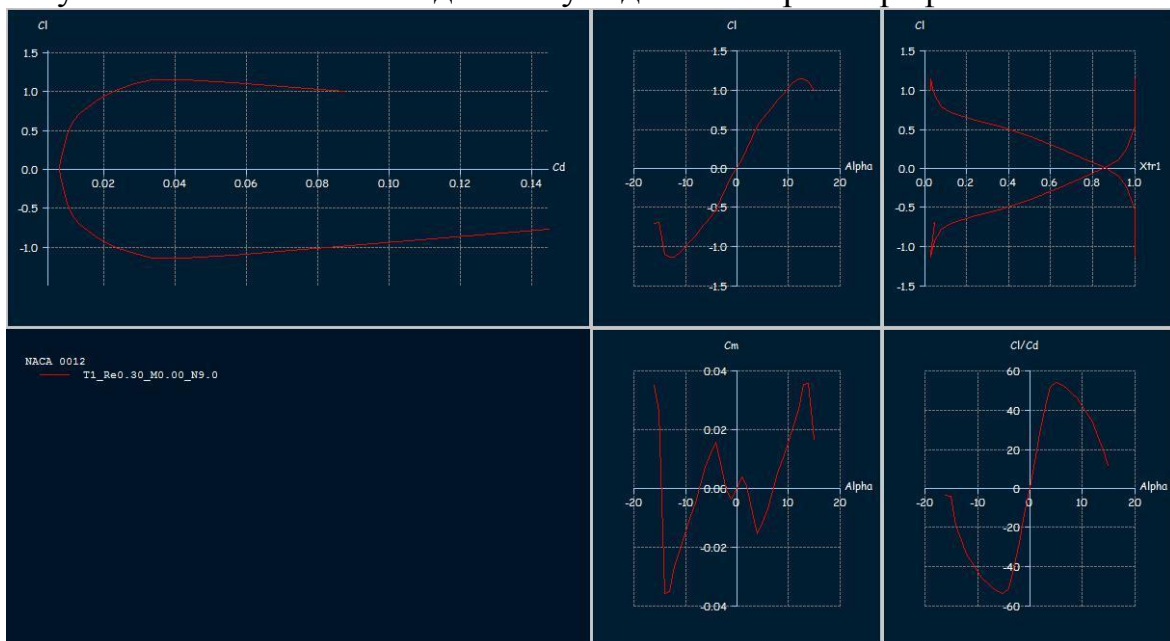


Рисунок 3.9 - Візуалізація кривої підйому XFLR5, кривої моментів та полярної криво

### **3.5 ВИМІРЮВАННЯ В АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ**

На самому початку розрахункової частини цього диплому було вирішено додати вимірювання в аеродинамічній трубі та зіставити його результати безпосередньо з цифровими кодами панелі. Особливо для порівняння точності результатів і ефективності вимірювання з точки зору часу, необхідного для вимірювання, і вимог до обладнання.

Нажаль, в мене не було можливості власноруч провести вимірювання в аеродинамічній трубі, тому було прийнято рішення використовувати дані випробувань для обраного профіля крила опублікованих в роботі “Aerodynamic Analysis of Open Trailing Edge Airfoils at Low Reynolds Number” що провели в Американському інституті аеронавтики та астронавтики.

#### **3.5.1 Аеродинамічна труба**

PLINT TE49 - це низькошвидкісна аеродинамічна труба типу Eiffel із закритою мірною секцією у відкритому контурі. Розміри робочої секції становлять 0,6 x 0,1 x 0,3 метра, а максимальна швидкість повітря становить близько 40 м/с ( $M = 0,1$ ). Тунельна константа становить приблизно 1,059 при  $Re = 3e5$ . Аеродинамічна труба показана на малюнку 3.1. Для роботи аеродинамічної труби використовуються три різні програми з різними цілями:

1. Програму запуску і зупинки аеродинамічної труби
2. Дистанційне керування компресором, вимірювання тиску та хвилі
3. Реєстратор даних, який записує результати в текстовий файл

### 3.5.2 Налаштування тесту

Під час цього вимірювання використовувався профіль НАСА 0012 (довжина хорди = 150,6 мм) для різних кутів атаки, як і в усій дипломній роботі, для відповідного порівняння результатів із кодами панелі. Профіль симетричний, що означає, що аеродинамічні характеристики однакові для обох сторін профілю. У цій аеродинамічній трубці аеродинамічна труба містить 23 статичні отвори, асиметрично розподілені вздовж її поверхні (12 на нижній поверхні та 11 на верхній поверхні), і їх положення вказані на рисунку 3.10. За аеродинамічним профілем на відстані 60 мм розташований статичний зонд Піто для вимірювання сліду. Він може перетинати свою позицію через тестову секцію. Схема всієї тестової ділянки наведена на рисунку 3.11.

| Lower Surface         |     |     |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Port No.              | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    | 11    | 12    |
| Distance from LE [mm] | 0,8 | 4,1 | 10,9 | 18,6 | 29,9 | 44,9 | 59,9 | 74,9 | 89,8 | 104,8 | 119,8 | 135,3 |
| Upper Surface         |     |     |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Port No.              | 17  | 18  | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26    | 27    |       |
| Distance from LE [mm] | 2   | 7,7 | 15,4 | 23,3 | 38,3 | 53,6 | 68,4 | 83,1 | 98,3 | 113,7 | 129,3 |       |

Рисунок 3.10 - Розташування отворів вздовж поверхні профілю

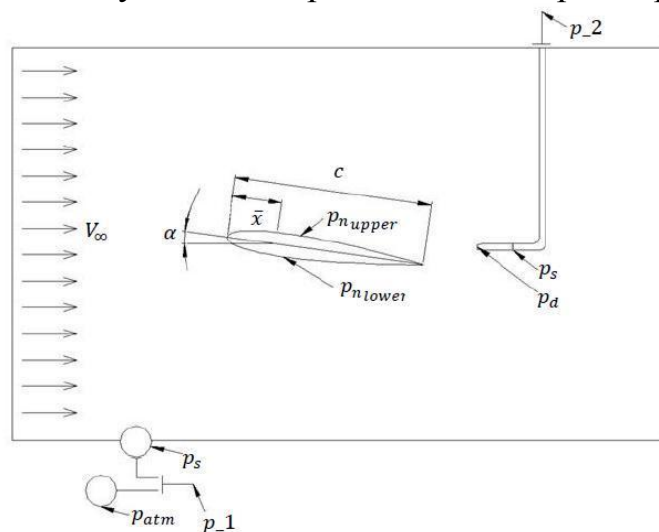


Рисунок 3.11 - Схема випробувальної ділянки аеродинамічної труби



### 3.5.3 Вимірювання

Нижче наведені результати вимірювань оприлюднені в дослідженні:

| Pressure 1 | Pressure 2 | Pressure 3 | Pressure 4 | Pressure 5 | Pressure 6 | Pressure 7 | Pressure 8 | Pressure 9 | Pressure 10 | Pressure 11 | Pressure 12 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| -125,48234 | -654,40842 | -843,58329 | -909,99438 | -943,9575  | -955,43613 | -944,45696 | -868,69453 | -874,29712 | -879,8997   | -853,06514  | -826,23057  |
| -93,267099 | -643,3269  | -826,82425 | -889,70663 | -932,59048 | -932,53401 | -926,91236 | -862,91928 | -863,99928 | -865,07928  | -841,35198  | -817,62469  |
| -93,267099 | -643,3269  | -826,82425 | -889,70663 | -932,59048 | -932,53401 | -926,91236 | -862,91928 | -863,99928 | -865,07928  | -841,35198  | -817,62469  |
| -127,85323 | -606,02542 | -825,41284 | -903,47889 | -958,18862 | -933,22714 | -919,85123 | -864,8205  | -877,68098 | -890,54147  | -861,22861  | -831,91575  |
| -194,3415  | -769,51057 | -862,87338 | -888,43406 | -932,68693 | -933,99169 | -917,14837 | -865,185   | -865,40897 | -865,63295  | -845,32925  | -825,02555  |
| -234,41982 | -674,83928 | -872,54485 | -940,7111  | -966,21068 | -917,94507 | -939,70853 | -882,12007 | -886,58159 | -891,04311  | -865,36341  | -839,68371  |
| -234,41982 | -674,83928 | -872,54485 | -940,7111  | -966,21068 | -917,94507 | -939,70853 | -882,12007 | -886,58159 | -891,04311  | -865,36341  | -839,68371  |
| -84,929329 | -716,81331 | -836,71488 | -889,9732  | -921,10589 | -930,32567 | -938,81656 | -878,61843 | -885,37385 | -892,12927  | -874,81818  | -857,50709  |
| -147,88955 | -547,28603 | -833,28078 | -902,08251 | -945,46093 | -944,90461 | -925,02895 | -870,43824 | -869,93061 | -869,42297  | -843,3131   | -817,20323  |
| -144,47921 | -671,89799 | -845,17317 | -924,19432 | -951,81366 | -928,71344 | -917,92437 | -865,50001 | -859,41923 | -853,33845  | -832,51908  | -811,69971  |
| -130,43457 | -634,44937 | -847,91957 | -898,61488 | -949,41589 | -939,9254  | -942,70641 | -876,38217 | -880,79197 | -885,20178  | -864,66875  | -844,13571  |
| -303,89436 | -738,08947 | -885,6883  | -911,88837 | -937,4898  | -957,87162 | -939,8252  | -877,5474  | -869,15133 | -860,75525  | -835,47219  | -810,18912  |
| -174,08918 | -753,29637 | -874,62733 | -936,74709 | -972,08441 | -969,93647 | -957,81114 | -891,61752 | -882,00123 | -872,38494  | -850,35582  | -828,32669  |
| -174,08918 | -753,29637 | -874,62733 | -936,74709 | -972,08441 | -969,93647 | -957,81114 | -891,61752 | -882,00123 | -872,38494  | -850,35582  | -828,32669  |
| -113,8253  | -599,00589 | -829,45002 | -910,98619 | -926,47258 | -927,30648 | -928,10047 | -867,88023 | -865,5398  | -863,19936  | -848,53776  | -833,87617  |
| -233,7689  | -627,79639 | -851,04444 | -910,88284 | -961,37045 | -964,08144 | -967,62141 | -886,89079 | -887,81037 | -888,72995  | -857,71256  | -826,69517  |
| -233,7689  | -627,79639 | -851,04444 | -910,88284 | -961,37045 | -964,08144 | -967,62141 | -886,89079 | -887,81037 | -888,72995  | -857,71256  | -826,69517  |
| -216,28178 | -940,67337 | -892,01111 | -1000,3264 | -999,12524 | -1001,536  | -971,13006 | -896,323   | -896,81705 | -897,3111   | -872,17555  | -847,04     |
| -90,549403 | -588,0022  | -818,30654 | -902,32649 | -941,93064 | -932,35118 | -922,02072 | -879,61246 | -865,4426  | -851,27275  | -838,49805  | -825,72335  |
| -90,549403 | -588,0022  | -818,30654 | -902,32649 | -941,93064 | -932,35118 | -922,02072 | -879,61246 | -865,4426  | -851,27275  | -838,49805  | -825,72335  |
| -80,949312 | -560,91405 | -818,56029 | -894,76187 | -930,99101 | -939,15945 | -925,38619 | -869,42447 | -863,90425 | -858,38402  | -840,67636  | -822,9687   |
| -125,75258 | -558,81793 | -824,88874 | -896,74735 | -948,6663  | -951,9634  | -942,53818 | -879,74153 | -875,52813 | -871,31472  | -851,10786  | -830,901    |
| -75,374846 | -611,24223 | -830,64216 | -909,78122 | -954,49857 | -944,1012  | -923,93734 | -871,43298 | -869,46641 | -867,49984  | -853,42814  | -839,35644  |
| -75,374846 | -611,24223 | -830,64216 | -909,78122 | -954,49857 | -944,1012  | -923,93734 | -871,43298 | -869,46641 | -867,49984  | -853,42814  | -839,35644  |
| -141,2447  | -496,81836 | -839,93113 | -910,05918 | -915,76394 | -930,49854 | -921,32253 | -869,53467 | -873,13436 | -876,73406  | -851,4349   | -826,13574  |
| -142,66589 | -714,51687 | -854,43937 | -900,46869 | -929,54663 | -937,12776 | -932,39498 | -875,99246 | -872,21317 | -868,43388  | -847,26391  | -826,09394  |
| -156,30576 | -602,95125 | -842,31187 | -900,55943 | -952,38493 | -962,77647 | -932,056   | -887,51238 | -876,05657 | -864,60075  | -845,26485  | -825,92895  |
| -163,55899 | -572,01452 | -835,91032 | -882,80817 | -919,94369 | -933,07915 | -940,73713 | -874,75903 | -874,3935  | -874,02797  | -845,95704  | -817,88612  |
| -163,55899 | -572,01452 | -835,91032 | -882,80817 | -919,94369 | -933,07915 | -940,73713 | -874,75903 | -874,3935  | -874,02797  | -845,95704  | -817,88612  |
| -128,91358 | -684,71557 | -852,69846 | -908,51901 | -936,85765 | -930,10296 | -912,1898  | -870,08326 | -870,54974 | -871,01622  | -841,26715  | -811,51809  |

Рисунок 3.12 - Файл даних з тисками на нижню поверхню профілю

| Pressure 17 | Pressure 18 | Pressure 19 | Pressure 20 | Pressure 21 | Pressure 22 | Pressure 23 | Pressure 24 | Pressure 25 | Pressure 26 | Pressure 27 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| -1652,2578  | -1705,0008  | -1713,1617  | -1456,9779  | -1260,3867  | -1141,2523  | -1160,2363  | -1098,8407  | -1037,4451  | -1002,2893  | -889,1305   |
| -1599,8085  | -1595,7395  | -1588,0533  | -1434,8137  | -1211,2947  | -1142,2885  | -1141,4292  | -1082,1233  | -1022,8174  | -967,73288  | -865,13175  |
| -1599,8085  | -1595,7395  | -1588,0533  | -1434,8137  | -1211,2947  | -1142,2885  | -1141,4292  | -1082,1233  | -1022,8174  | -967,73288  | -865,13175  |
| -1634,6554  | -1627,5565  | -1655,4138  | -1459,2578  | -1235,4898  | -1167,638   | -1149,4594  | -1092,8616  | -1036,2639  | -988,7438   | -865,67052  |
| -1675,6937  | -1673,7938  | -1693,9763  | -1431,913   | -1227,7232  | -1165,43    | -1158,2042  | -1105,3187  | -1052,4331  | -1007,8266  | -874,62929  |
| -1689,7924  | -1652,6634  | -1680,4944  | -1447,8461  | -1232,3953  | -1155,9628  | -1156,7213  | -1112,8758  | -1069,0303  | -1007,8292  | -867,83232  |
| -1689,7924  | -1652,6634  | -1680,4944  | -1447,8461  | -1232,3953  | -1155,9628  | -1156,7213  | -1112,8758  | -1069,0303  | -1007,8292  | -867,83232  |
| -1636,3798  | -1582,7417  | -1612,0973  | -1447,3069  | -1215,6992  | -1126,7393  | -1139,8351  | -1085,6111  | -1031,3872  | -1000,9738  | -891,14548  |
| -1600,4543  | -1694,5797  | -1586,3214  | -1435,9321  | -1243,425   | -1166,0716  | -1152,862   | -1097,5984  | -1042,3349  | -1004,7906  | -868,54817  |
| -1672,4641  | -1646,3137  | -1623,587   | -1461,0957  | -1240,7632  | -1163,0901  | -1139,3883  | -1086,1321  | -1032,876   | -973,42081  | -877,35558  |
| -1626,7811  | -1588,1014  | -1592,4914  | -1431,7271  | -1257,708   | -1151,1335  | -1168,9588  | -1108,7026  | -1048,4465  | -986,14851  | -874,69893  |
| -1644,7459  | -1634,227   | -1670,8468  | -1445,0471  | -1229,2616  | -1158,1153  | -1140,5656  | -1091,7155  | -1042,8653  | -1008,5895  | -882,50787  |
| -1745,5827  | -1636,9609  | -1611,4298  | -1435,5054  | -1228,8862  | -1162,8703  | -1133,604   | -1077,3356  | -1021,0671  | -977,91785  | -875,73804  |
| -1745,5827  | -1636,9609  | -1611,4298  | -1435,5054  | -1228,8862  | -1162,8703  | -1133,604   | -1077,3356  | -1021,0671  | -977,91785  | -875,73804  |
| -1665,6893  | -1557,8557  | -1653,1229  | -1453,6157  | -1250,2232  | -1152,4068  | -1141,9778  | -1082,1027  | -1022,2276  | -965,43676  | -939,99119  |
| -1605,7419  | -1618,4017  | -1628,201   | -1427,2096  | -1240,9481  | -1152,311   | -1142,646   | -1091,9995  | -1041,3531  | -981,83418  | -869,25294  |
| -1605,7419  | -1618,4017  | -1628,201   | -1427,2096  | -1240,9481  | -1152,311   | -1142,646   | -1091,9995  | -1041,3531  | -981,83418  | -869,25294  |
| -1738,9106  | -1771,3361  | -1662,8289  | -1444,618   | -1230,083   | -1147,2809  | -1112,8795  | -1069,4856  | -1026,0918  | -977,97046  | -857,44163  |
| -1643,9518  | -1612,059   | -1568,9435  | -1405,7336  | -1234,1855  | -1144,396   | -1140,4162  | -1082,2786  | -1024,141   | -977,32159  | -873,25205  |
| -1643,9518  | -1612,059   | -1568,9435  | -1405,7336  | -1234,1855  | -1144,396   | -1140,4162  | -1082,2786  | -1024,141   | -977,32159  | -873,25205  |
| -1820,3022  | -1716,3014  | -1602,2332  | -1422,7955  | -1244,4588  | -1176,4838  | -1175,8509  | -1113,2844  | -1050,718   | -1025,6223  | -908,75618  |
| -1555,3942  | -1671,7896  | -1601,7211  | -1432,554   | -1236,2562  | -1160,8852  | -1149,6181  | -1095,5813  | -1041,5444  | -963,08663  | -880,25406  |
| -1646,195   | -1587,4696  | -1648,1758  | -1464,7793  | -1233,4929  | -1155,975   | -1140,7619  | -1091,5064  | -1042,251   | -977,58425  | -868,57207  |
| -1646,195   | -1587,4696  | -1648,1758  | -1464,7793  | -1233,4929  | -1155,975   | -1140,7619  | -1091,5064  | -1042,251   | -977,58425  | -868,57207  |
| -1728,5429  | -1645,7071  | -1670,9474  | -1459,9783  | -1238,0422  | -1153,6439  | -1152,1412  | -1084,4543  | -1016,7674  | -983,34358  | -881,20957  |
| -1723,9848  | -1649,1443  | -1659,1278  | -1438,1695  | -1225,5894  | -1154,2406  | -1130,1284  | -1075,5971  | -1021,0657  | -992,30686  | -880,73773  |
| -1703,9888  | -1671,4445  | -1629,7883  | -1435,5124  | -1227,1766  | -1135,3457  | -1121,8042  | -1072,0005  | -1022,1969  | -977,67492  | -900,07742  |
| -1617,8304  | -1655,8571  | -1596,1622  | -1424,8087  | -1220,5625  | -1131,1803  | -1138,3937  | -1092,2923  | -1046,1909  | -971,96196  | -892,768    |
| -1617,8304  | -1655,8571  | -1596,1622  | -1424,8087  | -1220,5625  | -1131,1803  | -1138,3937  | -1092,2923  | -1046,1909  | -971,96196  | -892,768    |
| -1698,6539  | -1647,4912  | -1672,9154  | -1463,2458  | -1219,3686  | -1140,6716  | -1127,9526  | -1091,946   | -1055,9394  | -1006,2334  | -880,79148  |

Рисунок 3.13 - Файл даних з тисками на верхню поверхню профілю



| Point index | Time        | PB temp   | Pressure_1 | Pressure_2 | Bar_pressure | Temperature | Traverse_position |
|-------------|-------------|-----------|------------|------------|--------------|-------------|-------------------|
| 578         | 1156,406739 | 16,107664 | 795,480096 | 825,053378 | 980,4265     | 19,618363   | 70,481452         |
| 580         | 1160,069564 | 16,074232 | 788,957908 | 826,871812 | 980,430668   | 19,617871   | 68,758856         |
| 580         | 1160,069564 | 16,074232 | 788,957908 | 826,871812 | 980,430668   | 19,617871   | 68,758856         |
| 582         | 1163,550493 | 16,109263 | 797,54113  | 821,132254 | 980,429402   | 19,616992   | 65,019424         |
| 583         | 1165,306703 | 16,122523 | 787,802018 | 817,784574 | 980,427685   | 19,622651   | 63,100038         |
| 584         | 1167,160735 | 16,122652 | 785,093068 | 823,334874 | 980,429172   | 19,621378   | 62,146246         |
| 584         | 1167,160735 | 16,122652 | 785,093068 | 823,334874 | 980,429172   | 19,621378   | 62,146246         |
| 585         | 1169,173012 | 16,104336 | 779,372028 | 823,138199 | 980,424168   | 19,618251   | 61,10345          |
| 586         | 1171,306008 | 16,12696  | 782,842876 | 804,520676 | 980,424644   | 19,618376   | 59,777678         |
| 587         | 1173,233141 | 16,177392 | 788,072323 | 815,134235 | 980,431065   | 19,619611   | 58,402667         |
| 588         | 1175,255862 | 16,102995 | 789,798917 | 804,684227 | 980,427541   | 19,618706   | 57,265764         |
| 589         | 1176,997104 | 16,133564 | 792,008775 | 750,372528 | 980,413632   | 19,618293   | 56,226342         |
| 590         | 1179,06391  | 16,127244 | 781,539293 | 756,385619 | 980,419706   | 19,617046   | 55,173534         |
| 590         | 1179,06391  | 16,127244 | 781,539293 | 756,385619 | 980,419706   | 19,617046   | 55,173534         |
| 591         | 1181,28519  | 16,154485 | 786,843081 | 716,132417 | 980,411415   | 19,618553   | 54,14427          |
| 592         | 1183,505877 | 16,091361 | 785,311027 | 685,081945 | 980,408977   | 19,619591   | 52,66867          |
| 592         | 1183,505877 | 16,091361 | 785,311027 | 685,081945 | 980,408977   | 19,619591   | 52,66867          |
| 593         | 1185,680518 | 16,079546 | 785,492516 | 643,467601 | 980,394175   | 19,618982   | 51,334019         |
| 594         | 1187,832568 | 16,102866 | 782,341506 | 663,797098 | 980,401113   | 19,618155   | 49,980401         |
| 594         | 1187,832568 | 16,102866 | 782,341506 | 663,797098 | 980,401113   | 19,618155   | 49,980401         |
| 595         | 1189,968766 | 16,088497 | 776,07561  | 734,147199 | 980,41853    | 19,617447   | 48,576478         |
| 596         | 1192,181046 | 16,086047 | 774,929133 | 758,517903 | 980,427799   | 19,617923   | 47,133103         |
| 597         | 1194,289845 | 16,159205 | 784,18373  | 795,681236 | 980,435983   | 19,617028   | 46,101972         |
| 597         | 1194,289845 | 16,159205 | 784,18373  | 795,681236 | 980,435983   | 19,617028   | 46,101972         |
| 598         | 1196,582937 | 16,127321 | 781,105343 | 807,85573  | 980,437155   | 19,623354   | 44,8952           |
| 599         | 1198,701486 | 16,120691 | 773,812052 | 806,406926 | 980,444449   | 19,628114   | 43,666624         |
| 600         | 1200,788693 | 16,099899 | 777,060176 | 811,431349 | 980,442114   | 19,626838   | 42,63295          |
| 601         | 1202,827354 | 16,082255 | 779,135212 | 822,598723 | 980,445158   | 19,640918   | 40,950567         |
| 601         | 1202,827354 | 16,082255 | 779,135212 | 822,598723 | 980,445158   | 19,640918   | 40,950567         |
| 602         | 1204,614204 | 16,123709 | 772,22475  | 821,207157 | 980,445101   | 19,640351   | 38,176023         |

Рисунок 3.14 - Файл даних з іншими даними, згенерований в аеродинамічній трубі

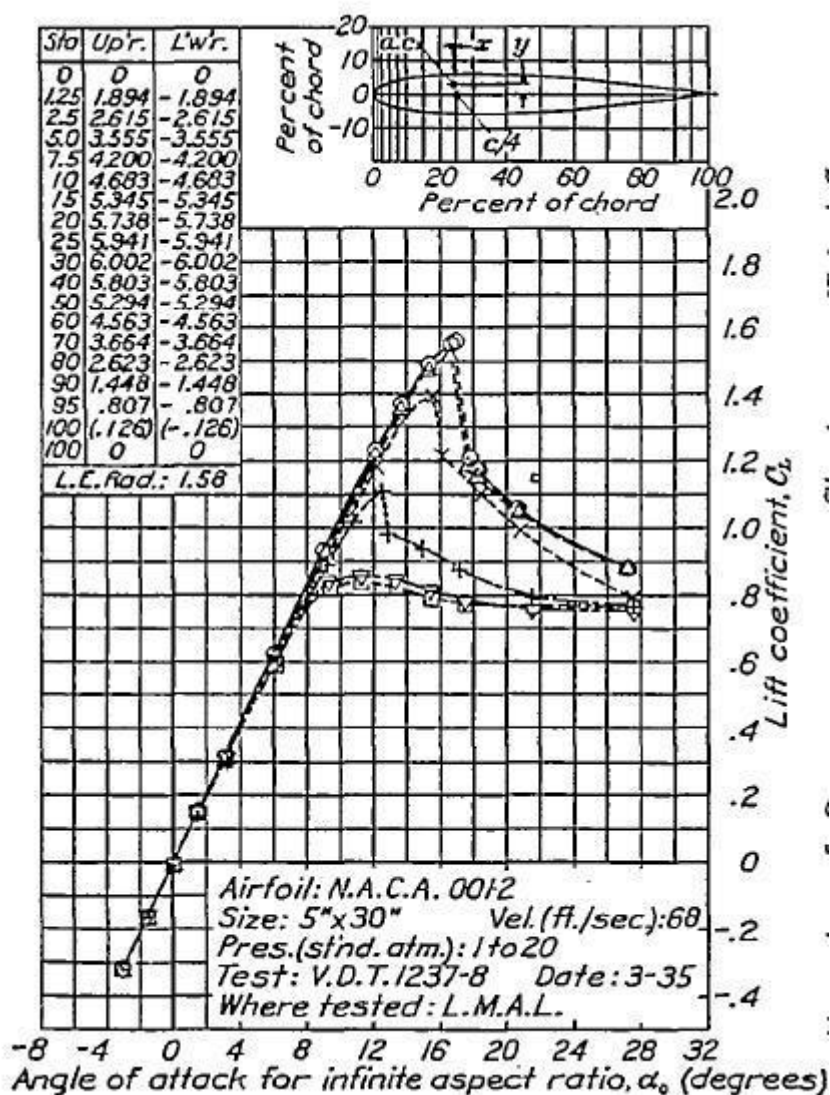
### 3.6 Звіт НАСА

Національний консультативний комітет з аеронавтики (НАСА) був федеральним агентством США, заснованим 3 березня 1915 року для проведення, сприяння та інституціоналізації аеронавігаційних досліджень. НАСА після закінчення свого існування 1 жовтня 1958 року було перетворено на нещодавно створене Національне управління з аеронавтики та дослідження космічного простору (НАСА). [10]

У 1929 році НАСА почала вивчати характеристики систематичних серій аеродинамічних профілів, намагаючись знайти форми, які найкраще підходили для конкретних цілей. Сімейства аеродинамічних профілів,

сконструйованих за певним планом, перевіряли та фіксували їхні характеристики. [1] Дослідники НАСА керували багатьма аеродинамічними трубами, стендами для випробування двигунів і обладнанням для льотних випробувань.

Існує звіт НАСА № 586, зроблений у 1935 році для різних дизайнів аеродинамічних профілів. Результати цього звіту для аеродинамічного профілю НАСА 0012 для різних чисел Рейнольдса показані на рисунку 3.15 для кривої підйомної сили та на рисунку 3.16 для полярної кривої.



Рисунк 3.15 - Крива підйомної сили для профілю НАСА 0012 для різних чисел Рейнольдса

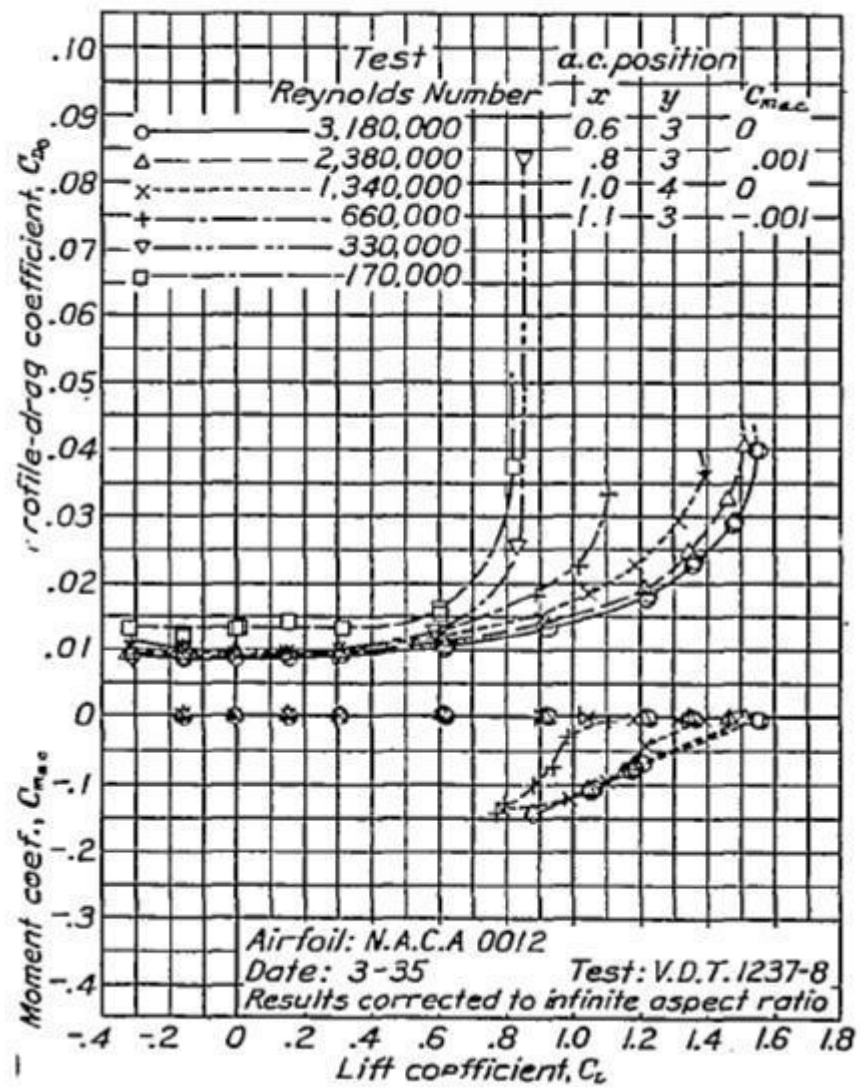


Рисунок 3.16 - Полярна крива для профілю NACA 0012 для різних чисел Рейнольдса

## РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Є зареєстровані результати з кодів панелей: XFOIL, JavaFoil і XFLR5, додані результати з аеродинамічної труби та звіт НАСА № 586.

Для всіх вимірювань використовувався аеродинамічний профіль НАСА 0012, який можна розглядати як еталонний профіль як один із найбільш перевірених аеродинамічних профілів. Число Рейнольдса було встановлено на  $Re = 300000$  з основним використанням в аеродинамічній трубі. Усі коди панелей обчислюються за допомогою аеродинамічного профілю поділених на 140 панелей і на 0,0 Маха. Критерієм переходу був вибір, який відповідає середній аеродинамічній трубі та є найпоширенішим вибором.

Це порівняння результатів ділиться на три частини: крива підйому, крива моменту тангажу та полярна крива. Остаточні значення аеродинамічних коефіцієнтів з обчислення кодів панелі були записані в таблицю, показану на рисунку 5.1, дані вимірювання в аеродинамічній трубі та дані зі звіту НАСА були записані в таблицю, показану на Таблиці 4.1.



таблица 4.1 - Результат із кодів панелей, записаних у таблиці Microsoft Excel

| 13.5.2014             | Xfoil 6.94 |         |                    | JavaFoil 2.21 |         |                    | XFLR5 4.17 |        |                    |
|-----------------------|------------|---------|--------------------|---------------|---------|--------------------|------------|--------|--------------------|
| Angle of Attack (AOA) | Cl         | Cd      | Cm <sub>0,25</sub> | Cl            | Cd      | Cm <sub>0,25</sub> | Cl         | Cd     | Cm <sub>0,25</sub> |
| -15                   | -1,0759    | 0,07171 | -0,0292            | -0,999        | 0,1359  | 0,008              | -0,697     | 0,1673 | 0,026              |
| -14                   | -1,1325    | 0,05205 | -0,0373            | -0,999        | 0,11986 | 0,008              | -1,097     | 0,0561 | -0,036             |
| -13                   | -1,1452    | 0,04154 | -0,0349            | -0,988        | 0,10477 | 0,008              | -1,136     | 0,0426 | -0,035             |
| -12                   | -1,134     | 0,03449 | -0,0266            | -0,968        | 0,09016 | 0,008              | -1,135     | 0,0336 | -0,027             |
| -11                   | -1,0839    | 0,02865 | -0,0205            | -0,97         | 0,06479 | 0,01               | -1,082     | 0,0286 | -0,021             |
| -10                   | -1,0155    | 0,02405 | -0,0152            | -1,034        | 0,0311  | 0,011              | -1,015     | 0,0241 | -0,015             |
| -9                    | -0,9392    | 0,02069 | -0,0104            | -0,985        | 0,0263  | 0,011              | -0,94      | 0,0205 | -0,01              |
| -8                    | -0,8639    | 0,01767 | -0,0048            | -0,904        | 0,02388 | 0,009              | -0,862     | 0,0178 | -0,005             |
| -7                    | -0,7856    | 0,01548 | 0,001              | -0,808        | 0,02202 | 0,008              | -0,785     | 0,0155 | 0,001              |
| -6                    | -0,7077    | 0,0134  | 0,0069             | -0,703        | 0,0187  | 0,007              | -0,708     | 0,0134 | 0,007              |
| -5                    | -0,626     | 0,0117  | 0,0118             | -0,592        | 0,0186  | 0,006              | -0,626     | 0,0117 | 0,012              |
| -4                    | -0,5384    | 0,01056 | 0,0154             | -0,477        | 0,01861 | 0,005              | -0,539     | 0,0106 | 0,016              |
| -3                    | -0,3979    | 0,00963 | 0,0084             | -0,359        | 0,01769 | 0,004              | -0,397     | 0,0096 | 0,008              |
| -2                    | -0,2371    | 0,00874 | -0,0017            | -0,24         | 0,0181  | 0,002              | -0,24      | 0,0088 | -0,001             |
| -1                    | -0,1074    | 0,008   | -0,0037            | -0,12         | 0,0169  | 0,001              | -0,106     | 0,008  | -0,004             |
| 0                     | 0          | 0,00768 | 0                  | 0             | 0,01669 | 0                  | 0          | 0,0077 | 0                  |
| 1                     | 0,1074     | 0,008   | 0,0037             | 0,12          | 0,01689 | -0,001             | 0,106      | 0,008  | 0,004              |
| 2                     | 0,2371     | 0,00874 | 0,0017             | 0,24          | 0,01812 | -0,002             | 0,24       | 0,0087 | 0,001              |
| 3                     | 0,3979     | 0,00963 | -0,0084            | 0,359         | 0,01767 | -0,004             | 0,397      | 0,0096 | -0,008             |
| 4                     | 0,5383     | 0,01056 | -0,0154            | 0,477         | 0,0186  | -0,005             | 0,539      | 0,0106 | -0,016             |
| 5                     | 0,6259     | 0,0117  | -0,0118            | 0,592         | 0,01864 | -0,006             | 0,626      | 0,0117 | -0,012             |
| 6                     | 0,7076     | 0,01339 | -0,0069            | 0,703         | 0,01873 | -0,007             | 0,708      | 0,0134 | -0,007             |
| 7                     | 0,7855     | 0,01547 | -0,001             | 0,808         | 0,02202 | -0,008             | 0,785      | 0,0155 | -0,001             |
| 8                     | 0,8639     | 0,01767 | 0,0048             | 0,904         | 0,02388 | -0,009             | 0,862      | 0,0178 | 0,005              |
| 9                     | 0,9393     | 0,02069 | 0,0104             | 0,985         | 0,0263  | -0,011             | 0,94       | 0,0205 | 0,01               |
| 10                    | 1,0156     | 0,02405 | 0,0152             | 1,034         | 0,0311  | -0,011             | 1,015      | 0,0241 | 0,015              |
| 11                    | 1,0842     | 0,02865 | 0,0204             | 0,97          | 0,06478 | -0,01              | 1,082      | 0,0286 | 0,021              |
| 12                    | 1,1345     | 0,0345  | 0,0265             | 0,968         | 0,09016 | -0,008             | 1,135      | 0,0336 | 0,027              |
| 13                    | 1,1461     | 0,04154 | 0,0348             | 0,988         | 0,10477 | -0,008             | 1,187      | 0,0426 | 0,035              |
| 14                    | 1,134      | 0,05202 | 0,0371             | 0,999         | 0,11986 | -0,008             | 1,098      | 0,0562 | 0,036              |
| 15                    | 1,0774     | 0,07172 | 0,029              | 0,999         | 0,13589 | -0,008             | 0,989      | 0,0874 | 0,017              |

Таблиця 4.2 - Результат аеродинамічної труби та звіт НАСА

| 28.5.2014             | BUT Wind Tunnel PLINT |          |                    | NASA Report No. 586 (Re = 3.3e5) |    |                    |
|-----------------------|-----------------------|----------|--------------------|----------------------------------|----|--------------------|
| Angle of Attack (AOA) | Cl                    | Cd       | Cm <sub>0,25</sub> | Cl                               | Cd | Cm <sub>0,25</sub> |
| -15                   | -1,13157              | 0,187275 | 0,196324           |                                  |    |                    |
| -14                   | -1,1051               | 0,15569  | 0,175913           | -0,83                            |    |                    |
| -13                   | -1,10472              | 0,141078 | 0,133845           | -0,8475                          |    |                    |
| -12                   | -1,08516              | 0,125204 | 0,110399           | -0,875                           |    |                    |
| -11                   | -1,04448              | 0,067975 | 0,083623           | -0,8685                          |    |                    |
| -10                   | -1,00941              | 0,061435 | 0,068644           | -0,84                            |    |                    |
| -9                    | -0,95929              | 0,046335 | 0,064247           | -0,8035                          |    |                    |
| -8                    | -0,88905              | 0,039163 | 0,066349           | -0,76                            |    |                    |
| -7                    | -0,78063              | 0,038324 | 0,061557           | -0,67                            |    |                    |
| -6                    | -0,67833              | 0,03874  | 0,059741           | -0,58                            |    |                    |
| -5                    | -0,57316              | 0,037386 | 0,054421           | -0,49                            |    |                    |
| -4                    | -0,45743              | 0,038697 | 0,045004           | -0,4                             |    |                    |
| -3                    | -0,35207              | 0,035161 | 0,037293           | -0,3                             |    |                    |
| -2                    | -0,240864             | 0,037964 | 0,015991           | -0,2                             |    |                    |
| -1                    | -0,144169             | 0,03565  | 0,005324           | -0,1                             |    |                    |
| 0                     | 0,049622              | 0,036829 | -0,00531           | 0                                |    |                    |
| 1                     | 0,144169              | 0,03565  | -0,01539           | 0,1                              |    |                    |
| 2                     | 0,240864              | 0,037964 | -0,02546           | 0,2                              |    |                    |
| 3                     | 0,352074              | 0,035161 | -0,03729           | 0,3                              |    |                    |
| 4                     | 0,457429              | 0,038697 | -0,045             | 0,4                              |    |                    |
| 5                     | 0,573156              | 0,037386 | -0,05442           | 0,49                             |    |                    |
| 6                     | 0,678328              | 0,03874  | -0,05974           | 0,58                             |    |                    |
| 7                     | 0,780625              | 0,038324 | -0,06156           | 0,67                             |    |                    |
| 8                     | 0,889049              | 0,039163 | -0,06635           | 0,76                             |    |                    |
| 9                     | 0,959294              | 0,046335 | -0,06425           | 0,8035                           |    |                    |
| 10                    | 1,009411              | 0,061435 | -0,06864           | 0,84                             |    |                    |
| 11                    | 1,044477              | 0,067975 | -0,08362           | 0,8685                           |    |                    |
| 12                    | 1,085159              | 0,125204 | -0,1104            | 0,875                            |    |                    |
| 13                    | 1,104718              | 0,141078 | -0,13385           | 0,8475                           |    |                    |
| 14                    | 1,105098              | 0,15569  | -0,17591           | 0,83                             |    |                    |
| 15                    | 1,131575              | 0,187275 | -0,19632           |                                  |    |                    |

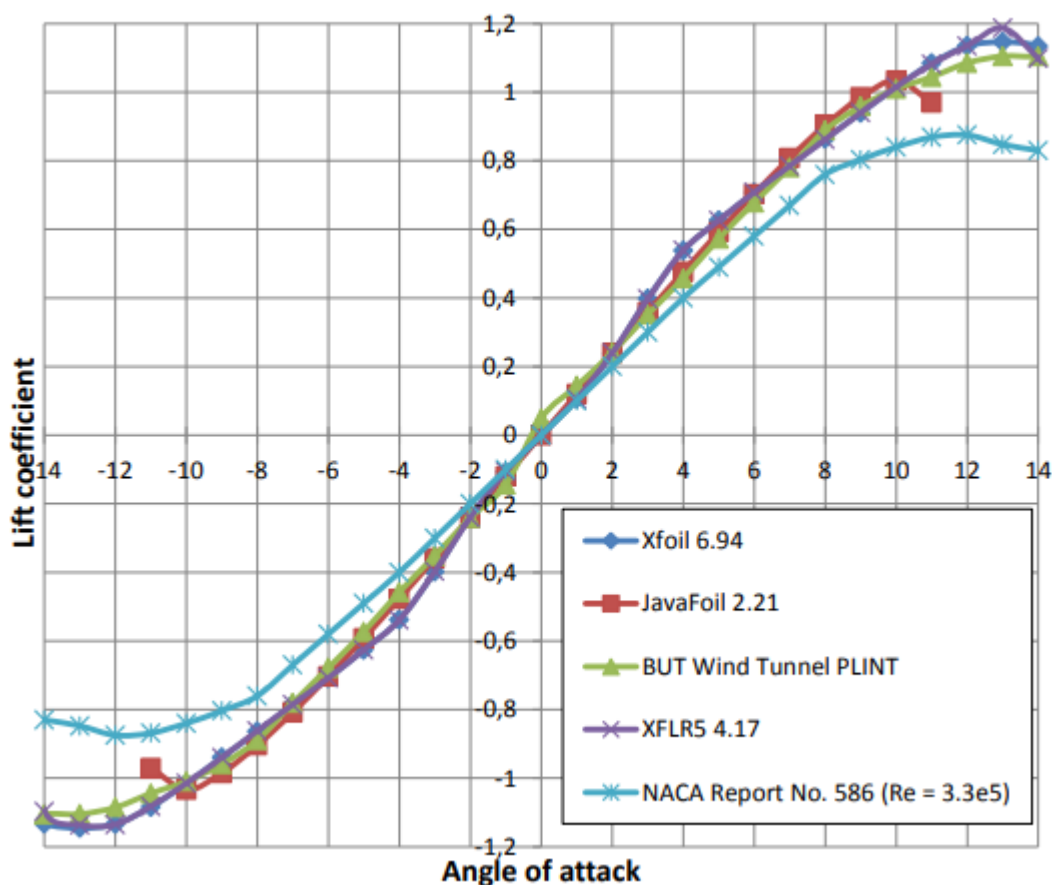
Звіт НАСА № 586 було виконано при різних числах Рейнольдса. Для цієї тези було обрано найближче значення для обчислення кодів панелі та вимірювання в аеродинамічній трубі, яке становило  $Re = 330\ 000$ . Відсутні коефіцієнти опору та моменту кидання, що було спричинено труднощами зчитування даних із графіка.

#### 4.1 Крива підйомної сили

Крива підйому відображає коефіцієнт підйому  $c_l$  від кута атаки  $\alpha$ . Коефіцієнт підйомної сили змінюється лінійно залежно від геометричного кута атаки, а нахил кривої підйомної сили  $m_0$  дорівнює майже  $2\pi$ . Крива підйомної сили в кодах панелей і в аеродинамічній трубі має майже такий самий крутий нахил кривої підйомної сили, тільки у звіті НАСА не такий крутий нахил кривої підйомної сили. Результати

XFOIL і XFLR5 можна порівняти як одне й те саме. Вони обидва досягли  $\alpha_{\text{стійло}}$  при  $\alpha = 13^\circ$ . JavaFoil досяг  $\alpha_{\text{стійло}}$  при  $\alpha = 9^\circ$ , звіт НАСА при  $\alpha = 12^\circ$ . Під час вимірювання в аеродинамічній трубі не було досягнуто  $\alpha_{\text{стійло}}$ . Крива підйомної сили показана на рисунку 4.1.

Крива підйому (NACA 0012,  $Re = 3e5$ )



Рисунк 4.1 - Крива підйомної сили профілю NACA 0012.  $Re = 3 \times 10^5$

Найбільший коефіцієнт підйому  $c_{l\text{макс}}$  було досягнуто кодом XFOIL/XFLR5, а з іншого боку звіт NASA з коефіцієнтом підйому  $c_{l\text{макс}}$  наближається до значення  $c_{l\text{макс}}=0,9$ .

Усі криві на графіку проходять через нульовий коефіцієнт підйому при нульовому куті атаки  $\alpha$ .

#### 4.2 Крива моменту тангажу

Відображення кривої моменту нахилу  $c_{m0,25}$  від кута атаки  $\alpha$ . Як і в попередній кривій підйому, XFOIL і XFLR5 мають однакові результати з нелінійним нахилом

крива моменту тангажу навколо початку системи координат. Криву моменту нахилу, розраховану JavaFoil, можна порівняти як лінійну. Крива, створена аеродинамічною трубою, також є лінійною, але має найкрутіший нахил кривої. Крива моменту тангажу показана на рисунку 4.2.

##### Крива моменту нахилу (NASA 0012)

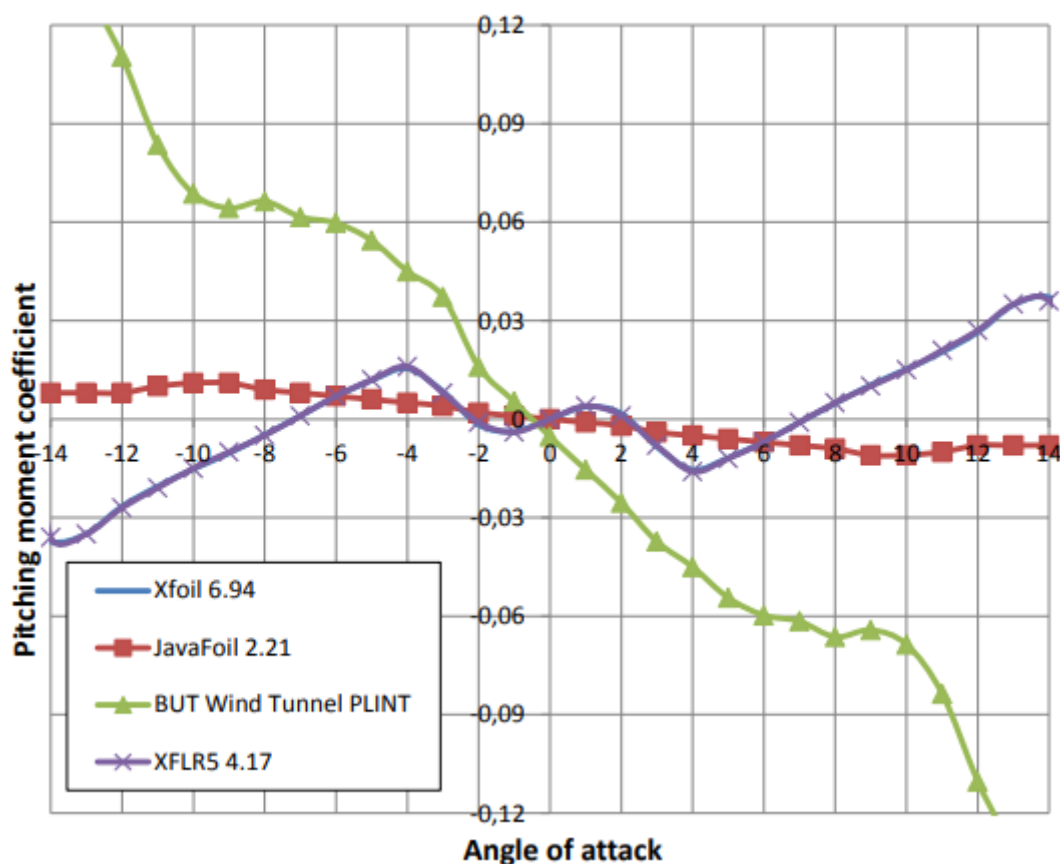


Рисунок 4.2 - Крива моменту тангажу профілю NASA 0012.  $Re = 3 \times 10^6$

### 4.3 Полярна крива

Полярна крива відображає коефіцієнт підйому  $c_l$  проти коефіцієнта лобового опору  $c_d$ . Результати XFOIL і XFLR5 майже однакові. Результати дещо відрізняються при вищих кутах атаки, де інший коефіцієнт лобового опору. Результат від JavaFoil мав значення опору між XFOIL/XFLR5 і аеродинамічною трубою. З іншого боку вимірювання в аеродинамічній трубі досягло найвищих значень опору при низьких кутах атаки. Полярна крива показана на рисунку 4.3. На малюнку 4.4 показано полярні криві в порівнянні між кодами панелей, вимірюванням у аеродинамічній трубі та звітом NASA № 586.

#### Полярна крива (NACA 0012, $Re = 3e5$ )

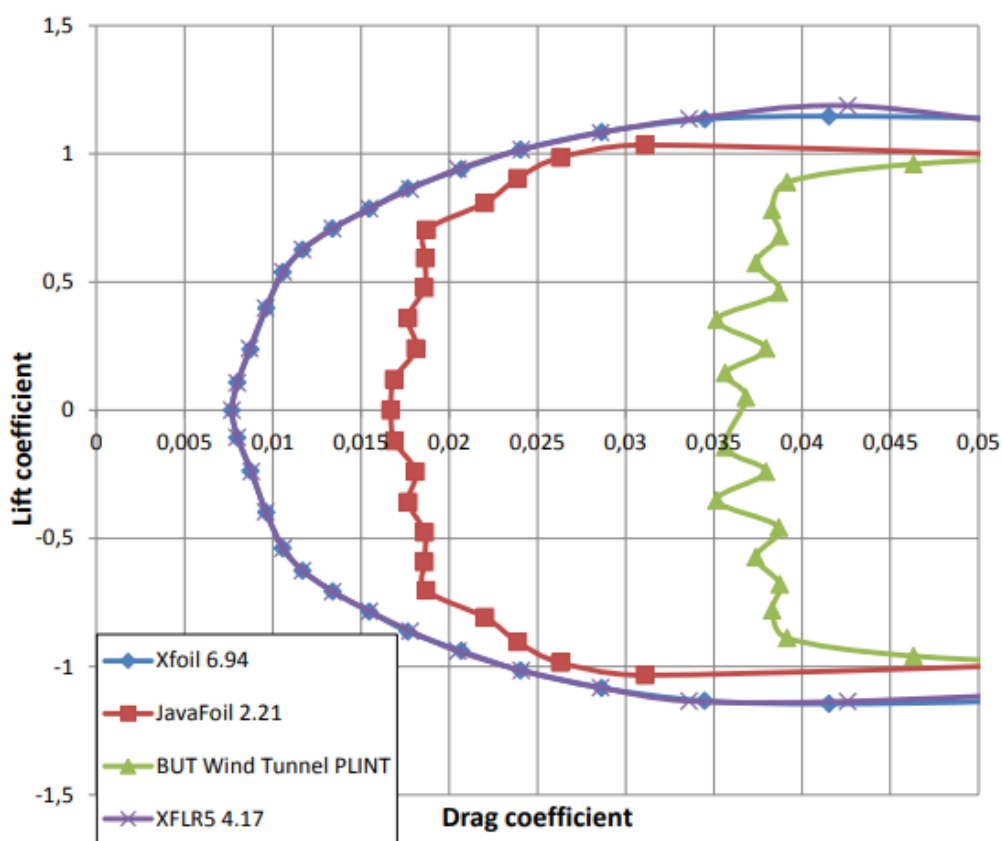


Рисунок 4.3 - Полярна крива профілю NACA 0012.  $Re = 3 \times 10^5$



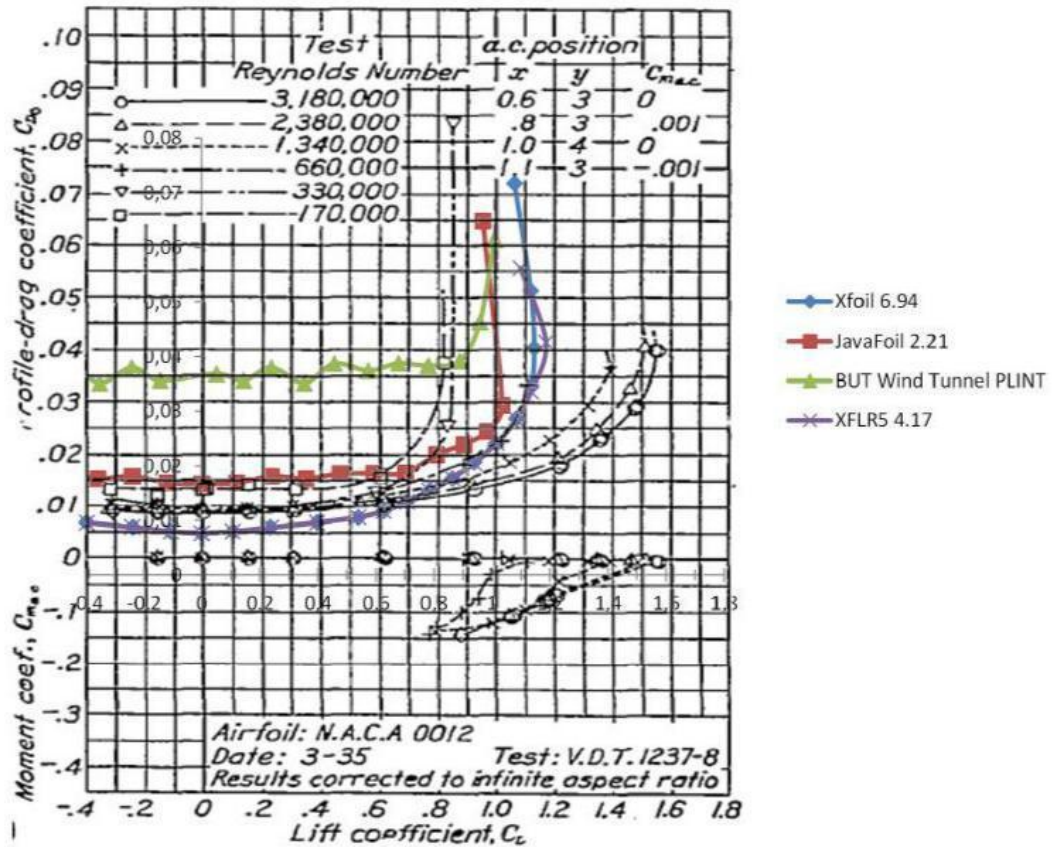


Рисунок 4.4 - Полярні криві для профілю НАСА 0012, експортовані до звіту НАСА № 58

## РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ

Автоматизована обробка даних є типовою задачею що вирішується сучасними аеронавігаційними системами. Обробка аеронавігаційних даних забезпечується як на борту у певних блоках авіоніки так і у наземних обчислювальних комплексах. Навігаційні параметри у сучасних системах вимірюються за допомогою значної кількості різних сенсорів, що забезпечують створення архіву даних, обробка яких потребує застосування спеціалізованих алгоритмів статистичної обробки. Кожен сенсор виконує вимірювання з певною величиною похибки, дію якої не можна виключили, проте її можна зменшити до прийняттого рівня. Отже сумісна обробка даних у аеронавігаційній системі виконується з урахуванням дії похибок кожного з сенсорів. Для цього використовують довірчі інтервали, що гарантують знаходження певного інтервалу у проміжку з певною ймовірністю [1]. Найбільш застосовуваними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, що забезпечує 95% локалізації виміряних значень, виходячи з припущення про нормальний закон розподілу похибок.

Кожен блок авіоніки у своїй структурі більш схожий до архітектури персонального комп'ютера з відповідними елементами: процесор, пам'ять, аналого-цифрові /цифро-аналогові перетворювачі, що дозволяє виконувати обробку виміряних даних на програмному рівні [2]. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних регістрах, змінних, матрицях чи архівах даних. Визначення точного місцеположення повітряного корабля (ПК) є однією з найважливіших задач цивільної авіації [3-5]. Зростаючі обсяги авіаперевезень вимагають постійного перегляду норм ешелонування для

задоволення росту потреб авіаційного транспорту. Норми ешелонування ПК визначають максимально допустимі межі розділення ПК у просторі у вертикальній площині, боковому та поздовжньому відхиленнях. Єдиним можливим шляхом вирішення питання перевантаженості повітряного простору є збільшення пропускної здатності певної частини повітряного простору за рахунок зменшення безпечних відстаней між ПК. На практиці це реалізується шляхом введення більш точних вимог до визначення місцеположення ПК у просторі. Введення більш точних вимог до позиціонування ПК можливе лише за умови наявності відповідних систем здатних задовольнити їх. Функціонування систем позиціонування ПК цивільної авіації забезпечується полем аеронавігаційних сигналів, що створюється у просторі різними системами.

У якості прикладу обробки даних великої розмірності розглянемо траєкторію руху літального апарату та виконаємо її розрахунок за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

### **5.1. Вхідні дані**

Сучасний літак цивільної авіації обладнаний цілою групою різноманітних датчиків, що забезпечують визначення координат місцеположення ПК у просторі. Відповідно до концепції автоматичного залежного спостереження (ADS-B) користувачі повітряного простору повинні періодично повідомляти своє місцеположення у просторі в автоматичному режимі. Найбільш поширеним бортовим обладнанням ADS-B є літаковий відповідач режиму 1090ES. Літаковий відповідач виконує функції автоматичного генерування цифрових повідомлень відповідно до налаштувань системи (стандартні налаштування забезпечує випромінювання сигналу з частотою у 1 Гц) та виконує їх випромінювання через всепрямовані антени системи [6, 7]. Поширене цифрове повідомлення містить ідентифікацію літака, координати місцеположення,



барометричну висоту та інші дані. Координати ПК отримуються з обчислювальної системи літаководіння після вибору оптимальної системи позиціонування для певного повітряного простору виходячи з точності, що забезпечується системою та специфікаційних вимог які діють у повітряному просторі де знаходиться літак.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані передані за концепцією ADS-B. Зокрема, ідентифікаційний код літака з координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних [8, 9]. Зокрема, обчислювальний кластери компаній Flightradar24 та Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [10] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 5.1).

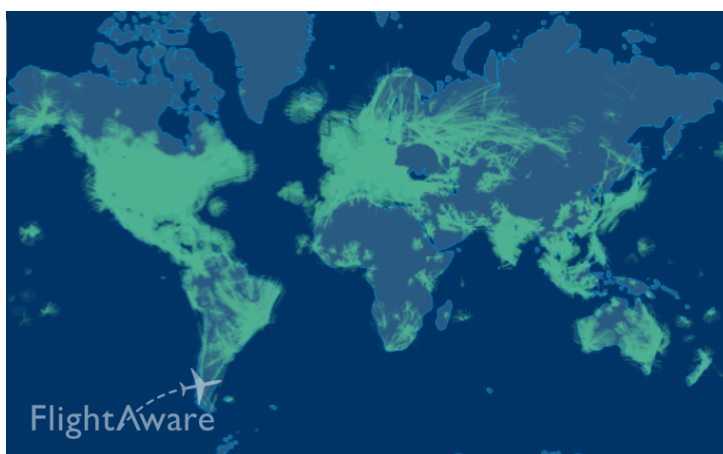


Рисунок 5.1 – Мапа глобального трафіку [10]

Доступ до глобальних баз даних траєкторної інформації є відкритим і забезпечується на комерційній основі. Програмно керований інтерфейс дозволяє отримати будь-який сегмент траєкторних даних для подальшого аналізу.

У якості вхідних даних я використовую дані траєкторії польоту RYR6639 (Ryanair 6639), що забезпечуються авіакомпанією Ryanair зі сполученням London Luton - LTN та Port Lotniczy Lublin - LUZ. Дата вильоту 19 листопада 2022 о 06:08 AM GMT. Дата посадки 19 листопада о 09:12 AM CET. Політ завершився раніше на 23 хвилин від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Boeing 737-800 (twin-jet). Вхідні дані

отримано від архіву за посиланням

<https://flightaware.com/live/flight/RYR6639/history>

20221119/0610Z/EGGW/EPLB. У таблиці 5.1 наведено перші та останні 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 5.1. Траєкторні дані рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

| Час (EEST)      | Широта  | Довгота | Курс      | Швидкість (kts) | Швидкість (mph) | Висота (фут) |
|-----------------|---------|---------|-----------|-----------------|-----------------|--------------|
| Sat 01:08:47 AM | 51.8693 | -0.3996 | ←<br>254° | 166             | 191             | 1,200        |
| Sat 01:09:03 AM | 51.8632 | -0.4182 | ↙ 231°    | 187             | 215             | 1,875        |
| Sat 01:09:19 AM | 51.8503 | -0.4326 | ↙ 208°    | 220             | 253             | 2,225        |
| Sat 01:09:35 AM | 51.8351 | -0.4438 | ↙ 204°    | 233             | 268             | 2,975        |
| Sat 01:09:51 AM | 51.8188 | -0.4488 | ↓ 180°    | 240             | 276             | 3,500        |
| Sat 01:10:08 AM | 51.7992 | -0.4390 | ↘ 148°    | 243             | 280             | 4,100        |
| Sat 01:10:28 AM | 51.7859 | -0.4129 | ↘ 114°    | 247             | 284             | 4,875        |
| Sat 01:10:46 AM | 51.7832 | -0.3824 | → 90°     | 245             | 282             | 5,875        |
| Sat 01:11:07 AM | 51.7826 | -0.3397 | → 93°     | 264             | 304             | 6,775        |
| Sat 01:11:24 AM | 51.7792 | -0.3044 | →<br>103° | 288             | 331             | 7,400        |
| Sat 01:12:01 AM | 51.7679 | -0.2282 | →<br>103° | 294             | 338             | 9,475        |
| Sat 01:12:20 AM | 51.7619 | -0.1880 | →<br>104° | 290             | 334             | 10,425       |
| Sat 01:12:41 AM | 51.7552 | -0.1420 | →<br>102° | 321             | 369             | 10,825       |
| Sat 01:13:02 AM | 51.7538 | -0.0874 | → 86°     | 335             | 386             | 11,600       |
| Sat 01:13:43 AM | 51.7683 | 0.0145  | → 76°     | 352             | 405             | 13,425       |
|                 |         |         | ...       |                 |                 |              |
| Sat 03:05:39 AM | 51.1690 | 22.1139 | → 81°     | 250             | 288             | 9,325        |

|                 |         |         |       |     |     |       |
|-----------------|---------|---------|-------|-----|-----|-------|
| Sat 03:06:09 AM | 51.1741 | 22.1666 | → 81° | 248 | 285 | 8,725 |
| Sat 03:06:39 AM | 51.1794 | 22.2201 | → 81° | 242 | 278 | 8,100 |
| Sat 03:07:09 AM | 51.1839 | 22.2697 | → 82° | 226 | 260 | 7,450 |
| Sat 03:07:39 AM | 51.1890 | 22.3205 | → 81° | 223 | 257 | 6,550 |
| Sat 03:08:09 AM | 51.1933 | 22.3676 | → 82° | 218 | 251 | 5,650 |
| Sat 03:08:39 AM | 51.1976 | 22.4153 | → 82° | 215 | 247 | 4,750 |
| Sat 03:09:00 AM | 51.2012 | 22.4469 | → 77° | 209 | 241 | 4,250 |
| Sat 03:09:31 AM | 51.2081 | 22.4920 | → 76° | 196 | 226 | 3,625 |
| Sat 03:10:01 AM | 51.2142 | 22.5333 | → 77° | 179 | 206 | 3,050 |
| Sat 03:10:33 AM | 51.2200 | 22.5733 | → 77° | 179 | 206 | 2,500 |
| Sat 03:10:49 AM | 51.2228 | 22.5929 | → 77° | 174 | 200 | 2,225 |
| Sat 03:10:58 AM | 51.2245 | 22.6050 | → 77° | 168 | 193 | 1,944 |
| Sat 03:12:08 AM | 51.2352 | 22.6788 | → 77° | 144 | 166 | 975   |
| Sat 03:12:28 AM | 51.2382 | 22.6996 | → 77° | 143 | 165 | 675   |

## 5.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022 у програмне забезпечення MATLAB [11]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.5.2., а вертикальний профіль представлено на рис. 5.3.

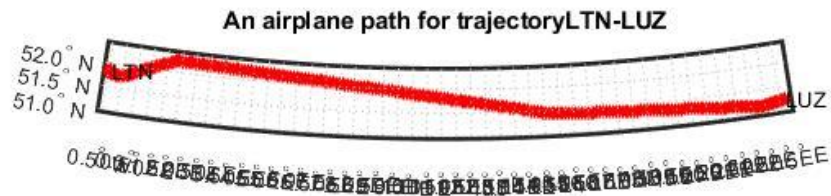


Рисунок 5.2 – Траєкторія руху рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

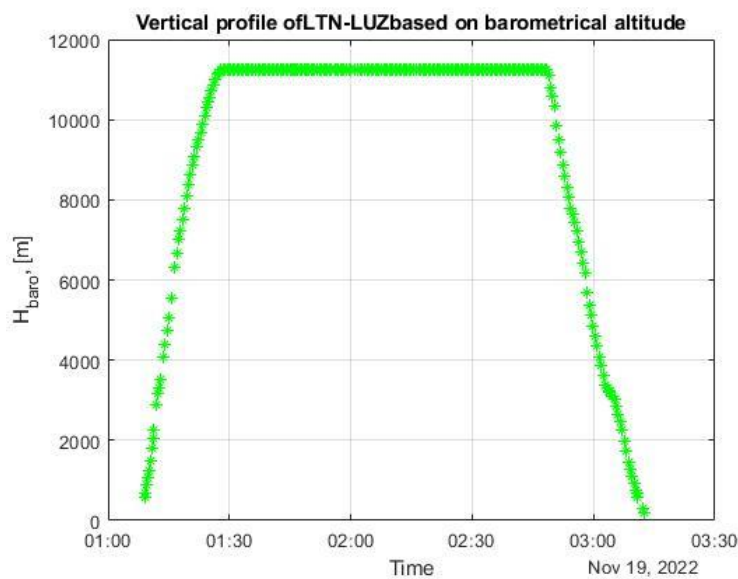


Рисунок 5.3 – Вертикальний профіль рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

### 5.3. Інтерполяція траєкторних даних

Цифрові повідомлення передані за концепцією ADS-B є несинхронізованими за часом. Кожин передавач може бути налаштований на свою частоту видачі цифрових повідомлень. Крім того слід відмітити що частота 1090МГц є доволі завантаженою, оскільки на ній працюють вторинні радіолокатори, системи попередження зближень літаків та

ADS-B. Це призводить до того, що певні цифрові повідомлення можуть накладатися одне на одне спотворюючи. Тож траєкторні дані є несинхронізовані з багатьма «битими» повідомленнями. Для вирішення цієї проблеми застосовують методи інтерполяції даних. У якості інтерполюючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис. 5.4 - 5.6. Усі наступні обчислення будемо виконувати з інтерпольованими даними. Відобразимо дані у локальній системі NEU. У якості центра системи використаємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 5.7 та рис. 5.8.

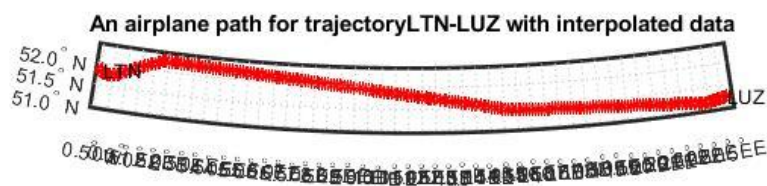


Рисунок 5.4 – Інтерпольована траєкторія руху ПК рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

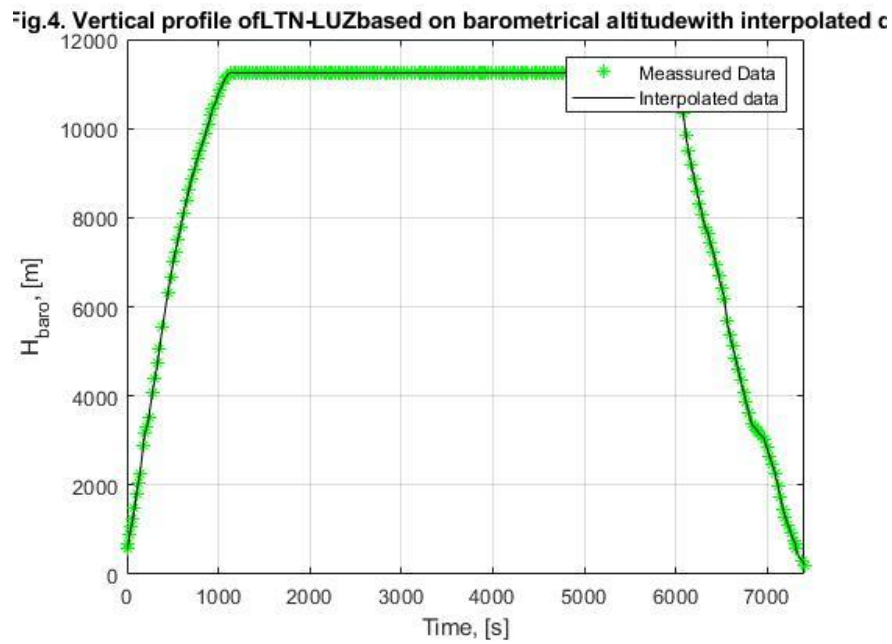


Рисунок 5.5 – Інтерпольований вертикальний профіль ПК рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

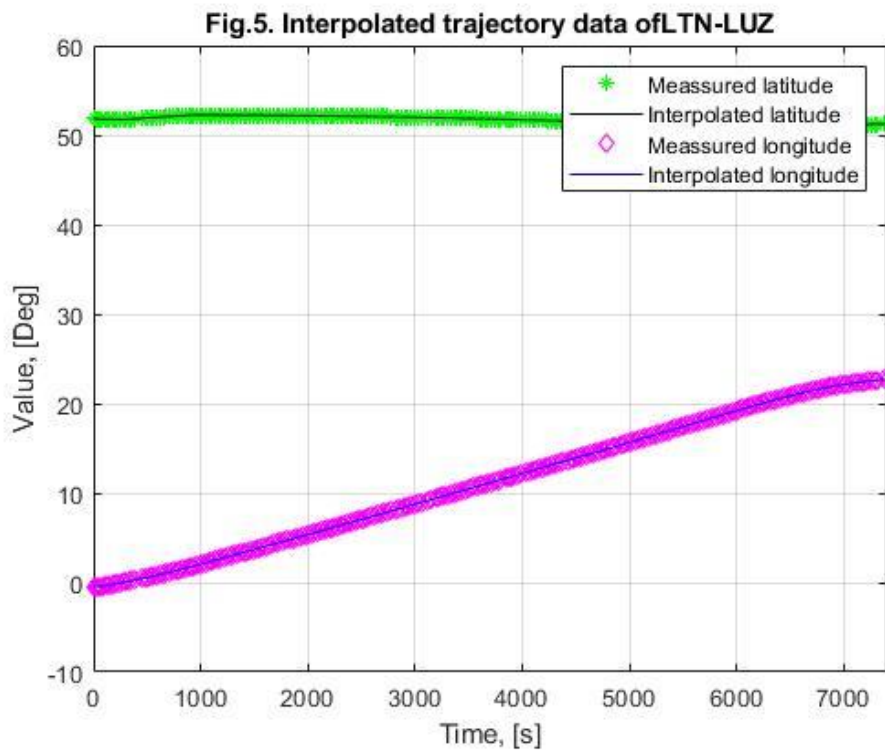


Рисунок 5.6 – Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

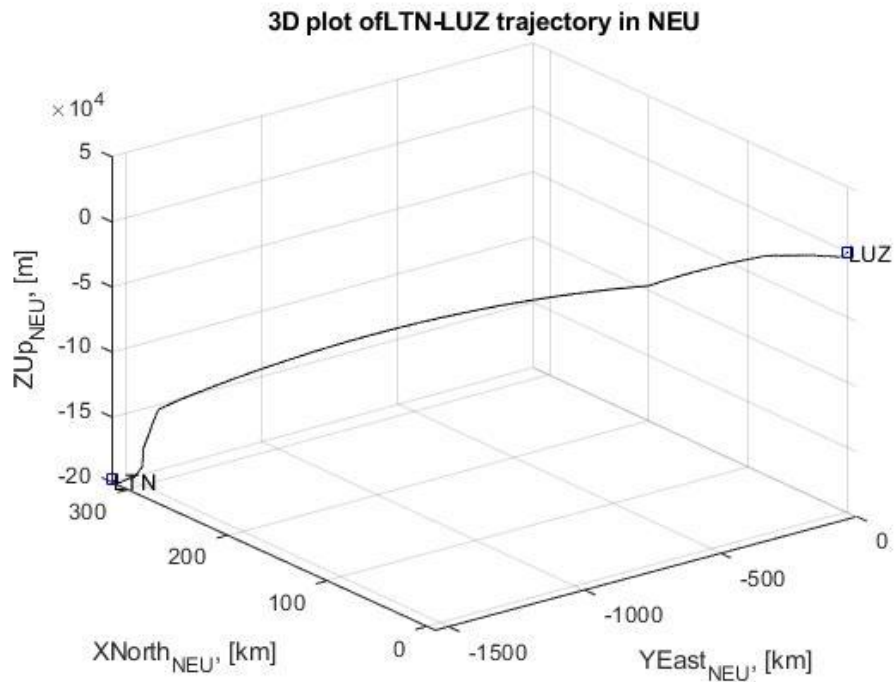


Рисунок 5.7 – Траекторія руху рейсу RYR6639 у локальній системі координат

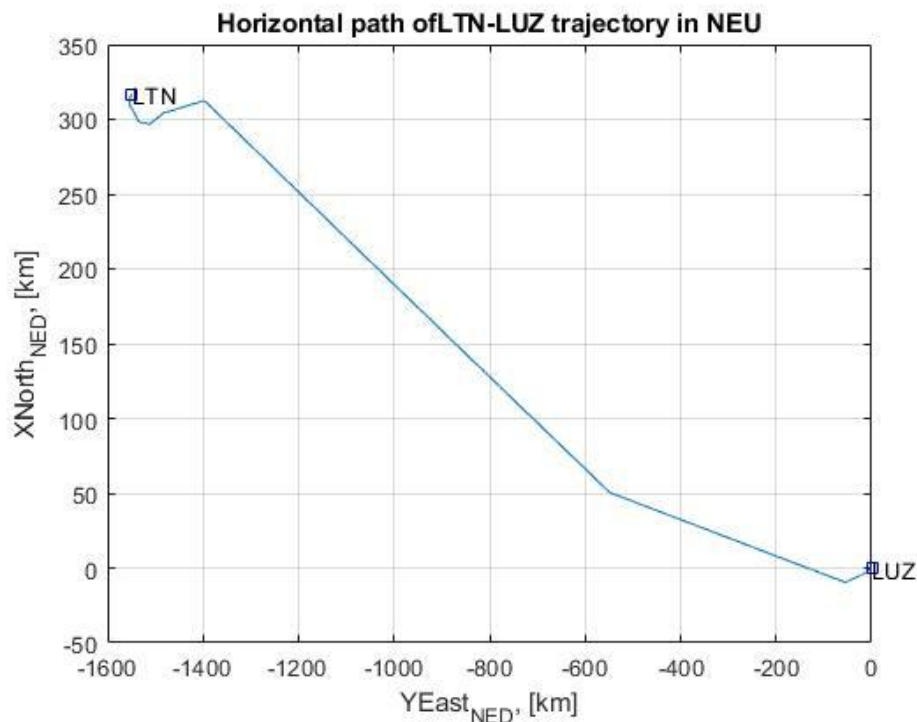


Рисунок 5.8 – Шлях руху рейсу RYR6639 у локальній системі координат

#### 5.4. Розрахунок параметрів траєкторії

За набором даних тривимірної траєкторії руху виконаємо розрахунок компонентів швидкості, зокрема розрахуємо повну швидкість ПК,

вертикальний та горизонтальний компонент. Результати розрахунку швидкості наведено на рис. 5.9., а оцінений курс літака на рис. 5.10. Також підрахуємо загальний час польоту, та довжину маршруту та траєкторії.

Загальний час польоту рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022 склав 2 години 4 хв 49 с. Довжина траєкторії – 1628.2 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 1593.7 км.

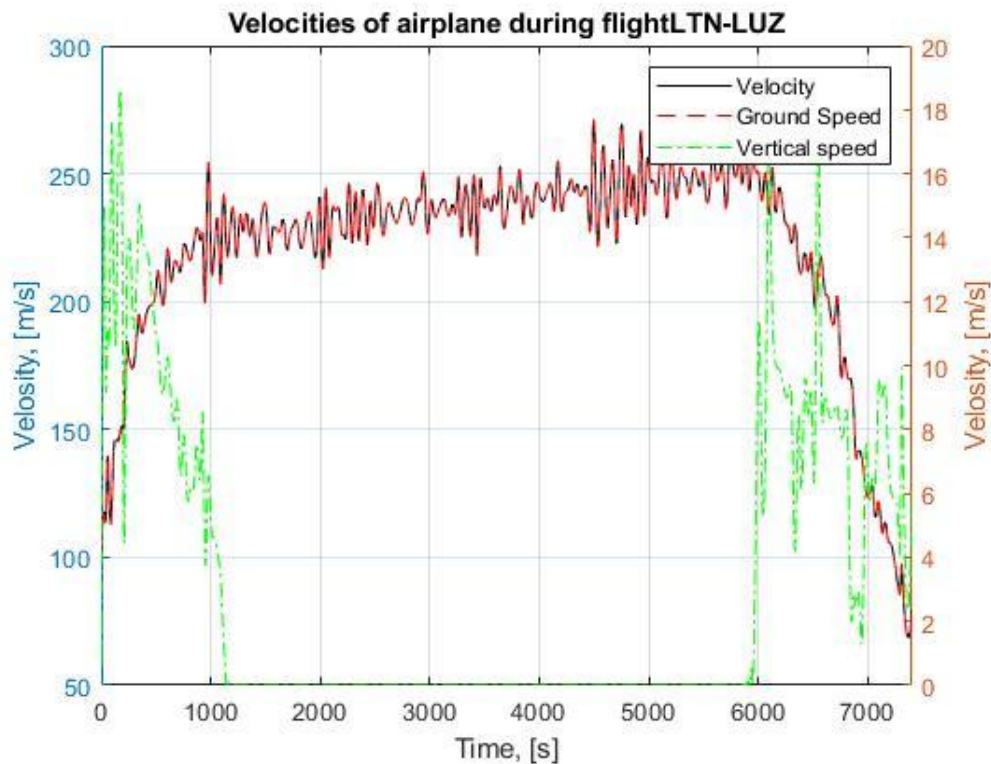


Рисунок 5.9 – Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022



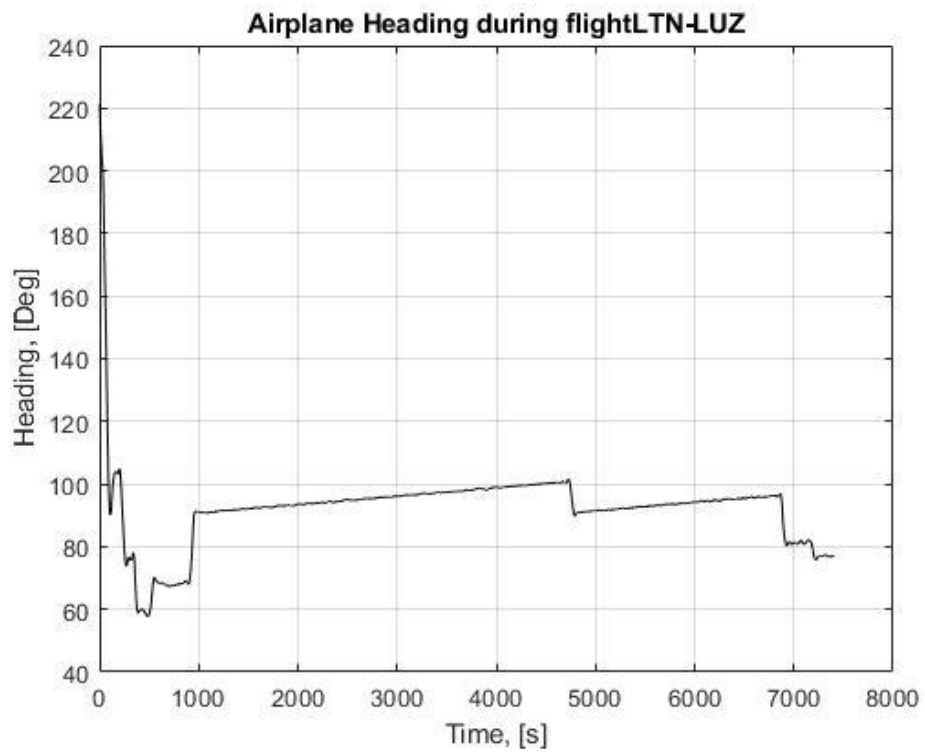


Рисунок 5.10 – Результати розрахунку курсу для рейсу RYR6639 від 19 листопада 2022

## РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ

Охорона праці – це система правових соціально–економічних, організаційно–технічних, санітарно–гігієнічних та лікувально–профілактичних заходів і засобів щодо створення умов, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, закони України: “Про охорону праці”, “Про охорону здоров'я”, “Про пожежну безпеку”, “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулювання за участю відповідних державних органів відносин між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни, праці та виробничого середовища і встановлення єдиного порядку організації охорони праці в Україні визначаються Законом України “Про охорону праці”, прийнятим 14 жовтня 1992 року.

Загальні положення по техніці безпеки при обслуговуванні приладів зв'язку викладені в “Правилах технічної експлуатації апаратури провідного та радіозв'язку” та “Інструкції по техніці безпеки і виробничої санітарії для електромеханіків та електромонтерів”.

Найважливішою умовою нормальної експлуатації пристроїв радіо зв'язку є виконання заходів щодо охорони праці. Вони спрямовані на утворення нормальних умов праці і безпечної роботи обслуговуючого персоналу.

Однією з найважливіших задач організації робочих місць й удосконалення умов праці є створення сприятливих фізіологічних та санітарно-гігієнічних умов на виробництві. При цьому основну увагу необхідно приділяти стану повітряного середовища, рівнем освітленості, шуму, вібрації, покращенню санітарно-побутового обслуговування, дотриманню режиму праці та відпочинку [10].

У робочому помешканні рекомендується комбіноване освітлення. Для загального освітлення застосовуються люмінесцентні світильники. Для місцевого освітлення, при роботі на стояках, варто використовувати переносні лампи напругою 36 – 40 В. Розетки з напругою 36 В повинні відрізнятися від розеток 220 В за формою і повинні бути відповідним чином підписані.

Для того, щоб у виробничих приміщеннях завжди було чисте повітря їх обладнують достатньою примусовою вентиляцією або періодично провітрюють.

Вибір системи вентиляції залежить від призначення будівлі та її об'єму, характеру виділення та вимог до системи вентиляції.

Сильний, постійно діючий шум шкідливо відбивається на здоров'ї людей та їх працездатності. Основними засобами боротьби з шумом є звукопоглинання, звукоізоляція, застосування глушителів шуму. Застосовуються й особисті засоби захисту від шуму, наприклад, спеціальні звукобирні навушники різноманітних типів. Добрий ефект надає обробка звукобирними матеріалами стін та стель у цехах з великим рівнем шуму.

До робочого місця регулювальника апаратури відноситься ділянка, на якій він проводить регулювальні профілактичні та ремонтні заходи. На робочому місці повинні знаходитися: принципіальні схеми устаткування, схеми електроживлення, посадові інструкції, графіки технологічних процесів, оперативний журнал, справний повний комплект інструменту, діелектричні рукавички, аптечка, вогнегасники, необхідний запас матеріалу

для виконання профілактичних робіт. Інструмент повинен знаходитися в зручному та доступному місці удалині від пристроїв під напругою.

До роботи з устаткуванням припускаються особи, що ознайомилися з інструкцією експлуатації на систему, що мають кваліфікаційну групу по електробезпеці не нижче III, які знають “Правила технічної експлуатації апаратури провідного і радіозв'язку” та пройшли інструктаж з техніки безпеки.

### **6.1 Розрахунок освітлення приміщення проектувальника апаратури**

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II-4-79 "Естественное и искусственное освещение".

Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, орієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Розрахунки КПО проводяться відповідно до СНиП II-4-79.

Робочі місця повинні бути достатньо освітлені. При штучному освітленні необхідно дивитися за тим, щоб воно було рівномірним. Цією умовою обумовлено використання комбінованого освітлення: загального та місцевого. При лампах накаливання загальне освітлення повинно складати 20%, місцеве – 80%; при люмінесцентному – загальне освітлення – 30%, місцеве – 70%.

Одним з основних питань охорони праці є організація раціонального освітлення виробничих приміщень.

Виробниче освітлення, правильно спроектоване і виконане, поліпшує умови здорової роботи, знижує стомленість, сприяє підвищенню продуктивності праці, сприятливо впливає на виробниче середовище, що чинить позитивний психологічний вплив на працівника, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

В усіх виробничих приміщеннях з постійним перебуванням у них людей для робіт у денний час варто передбачити природне освітлення як більш економічне й досконале з погляду медико–санітарних вимог у порівнянні зі штучним освітленням.

Раціональне електричне освітлення не можна вирішити довільним розміщенням джерел світла. Для вірного вибору світлового режиму необхідно знати норми освітлення, а також враховувати комплекс світлотехнічних і гігієнічних питань.

Проведемо розрахунок освітлення за методом коефіцієнта використання світлового потоку [11].

Цей метод дає можливість визначити світловий потік ламп, необхідне для досягнення заданої освітленості, або при заданому світловому потоці знайти освітленість. Метод використовується для розрахунку повного освітлення при горизонтальній робочій поверхні з урахуванням світла, відбитого стінами, стелею та підлогою.

Світловий потік лампи розраховується за формулою, лм:

$$F = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot N \cdot n}, \quad (6.1)$$

де  $E_H$  – нормативна величина освітленості, лк;

$K$  – коефіцієнт запасу вводять для компенсації зниження освітленості від старіння ламп;

$S$  – площа поверхні, що освітлюється, м<sup>2</sup>;

$Z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної (цей коефіцієнт вводять у зв'язку з тим, що нормується не середня, а мінімальна освітленість);

$N$  – число світильників;

$n$  – число ламп у світильнику;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці, тобто відношення світлового потоку, що падає на поверхню, що розраховується, до сумарного потоку.

Згідно із санітарно–гігієнічними та технічними нормами використаємо люмінесцентні лампи з наступними характеристиками:  $E_n = 750$  лк;  $F = 4220$  лм;  $K = 1,3$ ;  $n = 2$ . Розмір приміщення  $A = 8$  м;  $B = 5$  м;  $h = 2,8$  м.

Площа поверхні, що освітлюється, розраховується за формулою, м<sup>2</sup>:

$$S = A \cdot B, \quad (6.2)$$

де  $A$  – довжина приміщення;

$B$  – ширина приміщення.

Розрахуємо площу за формулою (7.2):

$$S = 8 \cdot 5 = 40 \text{ м}^2$$

Для визначення коефіцієнта використання  $\eta$  знаходять індекс  $i$  за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (6.3)$$

де  $h$  – розрахункова висота.

Розрахуємо індекс  $i$  за формулою (5.3):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 5}{2,8 \cdot (8 + 5)} = 1,1$$

За нормативними документами по будівництву виробничих приміщень приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку рівним  $\eta = 64\%$ .

Визначимо число світильників необхідних для освітлення цього приміщення:

$$N = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot F \cdot n} = \frac{750 \cdot 1.3 \cdot 40 \cdot 1.1}{0.64 \cdot 4220 \cdot 2} = 7,9 \text{ шт.}$$

Отже, для освітлення приміщення регулювальника апаратури необхідно 8 люмінесцентних ламп.

## **6.2 Вимоги щодо електробезпеки, обладнання та організації робочого місця**

Під час проектування радіосистем, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень для робочих місць необхідно дотримуватись вимог ПВЕ, ПТЕ, ПБЕ, СН 357–77 "Инструкция по проектированию силового осветительного оборудования промышленных предприятий", затверджених Держбудом СРСР, ГОСТ 12.1.006, ГОСТ 12.1.030 "ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление", ГОСТ 12.1.019 "ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты", ГОСТ 12.1.045, ВСН 59–88 Держкомархітектури СРСР "Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования", Правил пожежної безпеки в Україні, а також розділів СНиП, що стосуються штучного освітлення і електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно–технічної і експлуатаційної документації заводу–виробника ЕОМ.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати

застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Робочі приміщення за електробезпекою поділяються:

- без підвищеної небезпеки;
- особливо небезпечні (присутність металевих підлог, підвищена вологість);
- з підвищеною небезпекою.

Площа, виділена для одного робочого місця, повинна складати не менше 6 м<sup>2</sup>, а обсяг – не менше 20 м<sup>3</sup>.

Робочі місця відносно світлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

При розміщенні робочих місць з необхідно дотримуватись таких вимог:

- робочі місця розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями робочих місць має бути не меншою за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного робочого місця та іншого не повинна бути меншою 2,5 м;
  - прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

### **6.3. Розрахунок захисного заземлення робочого місця**

Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Воно призначено для усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус. Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку, зумовлених замиканням на корпус. Це досягається зменшенням потенціалу заземленого устаткування, а також вирівнюванням потенціалів за рахунок підймання потенціалу основи, на



якій стоїть людина, до потенціалу, близького за значенням до потенціалу заземлюючого устаткування.

Захисне заземлююче обладнання складається з сукупності заземлювача і провідників, що заземлюють. Заземлювач являє собою провідник або сукупність металевих сполучених провідників, які знаходяться в безпосередньому зіткненні з землею. Провідник, який заземлює це металевий провідник, який з'єднує частини електричного устаткування, яке заземлюється, із заземлювачем.

Згідно з вимогами “Правил улаштування електроустановок опір захисного заземлення” в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом.

Розрахуємо контур, який заземлює робоче місце.

У якості заземлювачів приймаються вертикальні заземлювачі із сталевих труб довжиною  $l = 1,7$  м, діаметром  $D = 40$  мм, розташованих в ряд із відстанню між трубами у груповому заземленні  $d = 3,0$  м. Ширина горизонтальної сполучної сталевий смуги  $b = 32$  мм, глибина закладення смуги в ґрунт  $t_0 = 0,5$  м. Ґрунт – глина, кліматична зона – четверта. Припустимий опір  $R_3 \leq 4$  Ом.

Визначимо опір одиночного вертикального заземлювача  $R_v$ , Ом:

$$R_g = 0,366 \cdot \left( \frac{\rho}{l} \right) \cdot \left[ \lg \left( \frac{2 \cdot l}{D} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left( 4S + \frac{l}{4 \cdot S} - l \right) \right], \quad (6.4)$$

де  $\rho$  – питомий опір ґрунту за рік, Ом · м;

$l$  – довжина сталевих труб,  $l = 1,7$  м;

$D$  – діаметр вертикальних заземлювачів із сталевих труб,  $D = 40$  мм;

$S$  – відстань від поверхні ґрунту до кінця занурення смуги в ґрунт, м.

Питомий опір ґрунту за рік  $\rho$ , Ом · м,

$$\rho = \rho_{гр} \cdot k_c, \quad (6.5)$$

де  $\rho_{гр}$  – питомий опір ґрунту,  $\rho_{гр} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

$k_c$  – коефіцієнт сезону, який враховує сезонне промерзання або висихання,  $k_c = 1,2$  м.

$$\rho = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Відстань від поверхні ґрунту до кінця занурення смуги в ґрунт  $S$ , м,

$$S = t_0 + 0,5 \cdot l, \quad (6.6)$$

де  $t_0$  – глибина закладення смуги в ґрунт,  $t_0 = 0,5$  м;

$l$  – довжина сталевих труб,  $l = 1,7$  м.

$$S = 0,5 + 0,5 \cdot 1,7 = 1,35 \text{ м}.$$

Підставивши вихідні дані у формулу (5.4) одержимо

$$R_{\epsilon} = 0,366 \cdot \left( \frac{48}{1,7} \right) \cdot \left[ \lg \left( \frac{2 \cdot 1,7}{0,04} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left( 4 \cdot 1,35 + \frac{1,7}{4 \cdot 1,35} - 1,7 \right) \right] = 23,01$$

Ом

Кількість вертикальних заземлювачів  $n_1$  визначаємо з виразу:

$$n_1 = \frac{R_B}{R_3 \cdot \eta_B}, \quad (6.7)$$

де  $R_B$  – опір одиночного вертикального заземлювача,  $R_B = 23,01 \text{ Ом}$ ;

$R_3$  – припустимий опір пристрою, який заземлює,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ ;

$\eta_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,  $\eta_{\text{в}} = 1$

$$n_1 = \frac{23,01}{4} \approx 6 \text{ штук.}$$

Для знайденого  $n_1$  за формулою (6.4) визначимо за допомогою таблиці А.3 [12] коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_{\text{в}}$  без урахування впливу горизонтальної сполученої смуги, при  $\frac{d}{l} = \frac{3}{1,7} = 1,77$ .

$$\eta_{\text{в}} = 0,74.$$

Уточнимо кількість вертикальних заземлювачів  $n_2$  за формулою (6.7),

$$n_2 = \frac{23,01}{4 \cdot 0,74} \approx 8 \text{ штук.}$$

Для знайденого  $n_2$  аналогічно попередньому розрахунку визначимо  $\eta_{\text{в}}$ ,

$$\eta_{\text{в}} = 0,72.$$

Згідно останньому розрахунку  $\eta_{\text{в}}$  знайдемо кількість вертикальних заземлювачів  $n_3$  за формулою (5.7),

$$n_3 = \frac{23,01}{4 \cdot 0,72} \approx 8 \text{ штук.}$$

Так як різниця між останніми числами заземлювачів  $n_2$  і  $n_3$  становить менше одиниці, то останнє значення  $n$  приймемо рівним восьми штук, для якого  $\eta_{\text{в}} = 0,72$ .

Визначимо результуючий опір проєктованого захисного пристрою, який заземлює  $R_{гр}$ , Ом,

$$R_{гр} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_\Gamma + n \cdot R_\Gamma \cdot \eta_B}, \quad (6.8)$$

де  $R_B$  – опір одиночного вертикального заземлювача,  $R_B = 23,01$  Ом;

$R_\Gamma$  – опір горизонтальної сполученої смуги, Ом;

$n$  – кількість вертикальних заземлювачів,  $n = 8$  штук;

$\eta_\Gamma$  – коефіцієнт використання горизонтальної сполученої смуги групового заземлювача;

$\eta_B$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,  $\eta_B = 0,72$ .

Опір горизонтальної сполучної смуги  $R_\Gamma$ , Ом,

$$R_\Gamma = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l_\Gamma} \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot l_\Gamma^2}{b \cdot t_0} \right), \quad (6.9)$$

де  $\rho$  – питомий опір ґрунту за рік, Ом · м;

$l_\Gamma$  – довжина горизонтальної смуги, м;

$b$  – ширина горизонтальної сполучної сталеві смуги,  $b = 0,032$  м;

$t_0$  – глибина закладення сполученої смуги в ґрунт,  $t_0 = 0,5$  м.

Питомий опір ґрунту за рік  $\rho$ , Ом · м,

$$\rho = \rho_{гр} K_C, \quad (6.10)$$

де  $\rho_{гр}$  – питомий опір ґрунту,  $=40$  Ом · м;

$K_c$  – коефіцієнт сезону для горизонтальних заземлювачів, який враховує сезонне промерзання або висихання,  $K_c = 2,0$  м.

$$\rho = 40 \cdot 2,0 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Довжина горизонтальної смуги  $l_r$ , м,

$$l_r = 1,05 \cdot d \cdot n, \quad (6.11)$$

де  $d$  – відстань між трубами у груповому заземленні,  $d = 3,0$  м;

$n$  – кількість вертикальних заземлювачів,  $n = 8$  штук.

$$l_r = 1,05 \cdot 3,0 \cdot 8 = 25,2 \text{ м}.$$

Коефіцієнт використання горизонтальної сполученої смуги групового заземлювача  $\eta_r$  визначимо за таблицею А.4 [12],

$$\eta_r = 0,78.$$

$$R_{гр} = \frac{23,01 \cdot 5,7}{23,01 \cdot 0,8 + 8 \cdot 5,7 \cdot 0,72} = 2,56 \text{ Ом}.$$

У зв'язку з тим, що  $R_{гр} < R_3$  ( $2,56 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$ ) приймаємо кількість вертикальних заземлювачів, яку отримали в результаті розрахунку, восьми штук, а довжину горизонтальної смуги  $l_r = 25,2$  м.

Таким чином, за допомогою попереднього розрахунку захисного заземлення робочого місця, а також дотримання всіх необхідних норм щодо вентиляції, освітлення та електробезпеки при виконанні робіт по проектуванню, висотоміра малих висот безпілотного літального апарата створені сприятливі і безпечні умови праці обслуговуючого персоналу.

#### **6.4. Державні санітарні норми випромінювання в Україні, як заходи захисту навколишнього середовища**

Відповідно до вимог Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Положення про державний санітарно-епідеміологічний нагляд в Україні» та «Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», державний санітарно-епідеміологічний нагляд за базовими станціями мобільного стільникового зв'язку та іншими радіотехнічними об'єктами здійснюється на стадіях погодження місця їх розташування, експертизи проектів будівництва, прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів та протягом усього періоду експлуатації.

З метою захисту здоров'я населення України від впливу електромагнітних випромінювань наказом Міністерства охорони здоров'я України №239 від 01.08.96 р. були розроблені та затверджені «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» (далі – Санітарні норми). Дані норми були розроблені Лабораторією гігієни електромагнітних випромінювань Інституту гігієни і медичної екології ім. А.Н. Марзєєва Академії медичних наук України. Українські санітарні норми разом із методичними вказівками до них дозволяють суворо регламентувати умови розміщення та експлуатації базових станцій мобільного стільникового зв'язку і тим самим забезпечити належний захист здоров'я населення від впливу електромагнітних полів, що виникають у навколишньому середовищі. Відповідно до Санітарних норм, рівні електромагнітного поля, що створюються базовими станціями мобільного стільникового зв'язку на території, призначеній для забудови, у приміщеннях житлових і громадських будинків, лікувально-профілактичних, оздоровчих, дитячих дошкільних і шкільних закладів, у будинках інвалідів і людей похилого віку, зонах відпочинку, на дитячих і спортивних майданчиках тощо не повинні перевищувати гранично допустимий рівень – 2,5 мкВт/см<sup>2</sup>. Слід зазначити, що вказаний

рівень набагато жорсткіший, ніж норми, встановлені іншими країнами Європи та Америки. В Україні встановлення будь-якого радіотехнічного об'єкта, що випромінює в навколишнє середовище електромагнітну енергію, повинно погоджуватися з державною санітарно-епідеміологічною службою.

Вивченням питань впливу електромагнітних випромінювань на здоров'я людини займається велика кількість державних і недержавних науково-дослідних установ, а також міжнародні організації, основні з яких – Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) та Міжнародний комітет із неіонізуючого випромінювання. Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, на сьогодні відсутні достовірні дані, які б підтверджували, що малоінтенсивне електромагнітне випромінювання від базових станцій стільникового зв'язку, що розташовані та експлуатуються у відповідності до вимог санітарного законодавства, може завдавати шкоди здоров'ю людини.

Група британських вчених з Ессекського університету провела експеримент на 56 добровольцях, які скаржилися на хворобливу чутливість до електромагнітного випромінювання (у більшості з них поряд із будинками знаходилися базові станції). В ході експерименту було встановлено, що люди, які скаржаться на підвищену чутливість до електромагнітного випромінювання, не можуть чітко визначити, працює чи не працює в конкретний момент передавач базової станції. Коли автори експерименту говорили їм, що передавач увімкнений, респонденти відразу починали помічати в себе різні симптоми (одні – головний біль, інші – нудоту, дехто відзначав погіршення зору), хоча насправді передавач залишався вимкненим. Інколи вчені робили вигляд, що вимикають базову станцію, і тоді всі симптоми у волонтерів відразу зникали. Для експерименту були використані базові станції, що працюють у GSM та UMTS – стандартах. Таким чином, проведений експеримент дозволив стверджувати, що

проблема впливу електромагнітного випромінювання на здоров'я населення має здебільшого психологічний характер.

Слід зазначити, що повідомлення в засобах масової інформації про виявлення випадків масового захворювання на рак населення, яке проживає поблизу місць встановлення базових станцій, викликали ряд протестів та сприяли зростанню соціальної напруги. На сьогоднішній день єдиним науково встановленим наслідком дії на людину РЧ-сигналів є підвищення температури тіла ( $> 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при дії полів дуже високої напруженості, які існують тільки на деяких промислових підприємствах (наприклад, поля, що випромінюються РЧ-нагрівачами) [13]. Коли енергія радіохвиль поглинається органами, може виникнути ефект нагріву, залежний від інтенсивності дії. Рівень нагріву, що виникає від дії радіохвиль в межах встановлених рівнів настільки низький, що нормальні для тіла процеси терморегуляції фактично розсіюють будь-яке тепло, яке може бути вироблене.

Всі встановлені на сьогоднішній день результати дії РЧ-випромінювання на здоров'я пов'язані з нагрівом. РЧ-поля є неіонізуючими і не руйнують молекулярну структуру біологічного матеріалу. Так звані «нетеплові» результати дії були і продовжують бути предметом оцінки. До теперішнього часу, думка експертів з охорони здоров'я полягає в тому, що література про результати нетеплової дії є нечисленною і суперечливою і їх зв'язок із здоров'ям людини також сумнівний для використання даної інформації як підстави для встановлення меж дії електромагнітних полів на людину. Глибина, на яку радіохвилі проникають в опромінювані тканини, залежить від використовуваної частоти.

Ніякі підтвержені дослідження до теперішнього часу не показали несприятливих для здоров'я наслідків при рівнях дії нижче або відповідних загальноприйнятим. Фактично, при рівних рівнях дії РЧ-сигналів організм людини поглинає в п'ять разів більше сигналів від радіоприймача або телевізора у зв'язку з їх нижчою частотою, ніж від базових станцій. Це



пояснюється тим, що частоти, використовувані в радіомовленні (близько 100 МГц) і телебаченні (близько 300 - 400 МГц), нижче за частоти, використовувані в мобільному телефонному зв'язку (900 МГц і 1800 МГц). До того ж, станції радіо- і телебачення діють вже більше 50 років, і яких-небудь несприятливих дій на здоров'ї за цей час не виявлено. Всесвітня Організація Охорони Здоров'я заснувала спеціальний Міжнародний проект по вивченню електромагнітних полів та їх впливу на здоров'я людини. Провідні галузеві міжнародні організації, такі як Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючого випромінювання (МКЗНВ), Міжнародне агентство з дослідження раку (МАДР), Інститут інженерів з електротехніки і радіоелектроніки (ІІЕР) підходять до вивчення даних проблем максимально серйозно. Зокрема, ВООЗ, реалізуючи Міжнародний проект по електромагнітних полях (ЕМП), розробила програму з моніторингу наукової літератури про це явище для оцінки його наслідків для здоров'я в результаті дії інтенсивністю про 0 до 300 ГГц з метою надання рекомендацій відносно можливих небезпек і визначення відповідних заходів по їх зменшенню. Особливо фахівців цікавлять поля радіочастотного діапазону, які створюються мобільними терміналами або базовими станціями мобільного зв'язку.

Після всесторонніх міжнародних оглядів Міжнародний проект по ЕМП стимулював проведення досліджень для заповнення прогалин в знаннях. У відповідь на це національні уряди і дослідницькі інститути вклали більше 250 мільйонів доларів в дослідження впливу електромагнітних полів за останніх 11 років [14]. Дані дослідження є масштабним науково-практичним завданням. Це пов'язано з тим, що складно відрізнити можливі наслідки дії дуже низьких сигналів, що випускаються базовими станціями, від наслідків дії інших сильніших РЧ-сигналів в навколишньому середовищі. В більшості випадків ученими різних країн досліджувалася дія ЕМП на користувачів мобільних телефонів. Дослідження мозкових хвиль, сприйняття і поведінки людей і тварин після дії РЧ-полів, таких як поля,

що створюються мобільними телефонами, не виявили несприятливих наслідків для здоров'я. Під час цих досліджень рівні дії РЧ-сигналів приблизно в 1000 разів перевищували рівні дії на населення сигналів базових станцій зв'язку або бездротових мереж. Яких-небудь послідовних даних про порушення сну або серцево-судинних функцій не зареєстровано. Особливу стурбованість людей викликає неперевірена інформація про випадки захворювання раком в районах, прилеглих до базових станцій мобільного зв'язку. З географічної точки зору випадки захворювання раком, в яких би то не було популяціях, розподілені нерівномірно.

Враховуючи той факт, що людину оточує велика кількість базових станцій зв'язку, можливе випадкове виникнення захворювань раком в місцях, розташованих поряд з базовими станціями. Більш того, часто зазначаються різні типи раку, які не мають загальних ознак і, тому, навряд чи можуть мати загальну причину. Враховуючи дуже низькі рівні дії і отримані на сьогоднішній день результати досліджень, можна відзначити, що не існує яких-небудь переконливих наукових даних, підтверджуючих, що слабкі РЧ-сигнали, що випускаються базовими станціями і бездротовими мережами, приводять до несприятливих наслідків для здоров'я.

З огляду на те, що надфонові електромагнітні хвилі здатні несприятливо впливати на фізіологічні функції людини та спричиняти патологічні розлади і захворювання, не треба нехтувати можливою потенційною загрозою будь-якого додаткового опромінення, зокрема того, джерелом якого є стільниковий зв'язок. Користуючись ним, треба дотримуватися певних профілактичних заходів:

- звертайте увагу на таку технічну характеристику мобільного терміналу, як коефіцієнт поглинання випромінювання (SAR). Відносно безпечними вважаються прилади, які мають SAR не вище 1,0, краще до 0,5 - 0,6;
- використовуйте спеціальні малогабаритні захисні пристрої (вставки тощо), які зменшують потужність випромінювання приладів безпосередньо на тіло;

- без нагальної потреби не закріплюйте ввімкнені пристрої на поясі, не тримайте їх у кишенях, використовуйте для цього кейси, сумки тощо, які тримаєте в руках;

Дотримання цих простих рекомендацій значно зменшить потенційну загрозу негативного впливу випромінювання на здоров'я. Випромінювання антен базових станцій практично ніякого впливу на здоров'я людини не мають. Однак час постійного користування мобільним терміналом дорослою людиною в екранованих приміщеннях (кабіна, салон автомобіля, мікроавтобуса тощо) має бути обмеженим до 15 хвилин на добу.

Пам'ятайте, що ваш приймач телефон увесь час перебуває в активному стані очікування радіозв'язку, і тому не носіть його у кишені чи на грудях як медальйон, особливо це стосується молодих людей, вагітних жінок і дітей.

При користуванні терміналом не затуляйте задню кришку його корпусу долонею або пальцями руки. Наше тіло сильно поглинає електромагнітну хвилю, ослаблюючи сигнал від базової станції, що змушує прилади працювати з підвищеною потужністю.

### **6.5 Правила охорони праці під час експлуатації моніторів, радіолокаторів та електрообладнання.**

У процесі праці людина взаємодіє з предметами праці, засобами виробництва, іншими людьми. Крім того, на нього впливають різні параметри виробничого середовища, в якому відбувається робота - температура, вологість, шум, рух повітря, вібрація, інфразвук, дія електромагнітних полів і випромінювання різного типу. Від умов праці багато в чому залежить здоров'я і працездатність людини, її ставлення до праці, результат праці. За поганих умов створюються умови для виникнення травм і професійних захворювань.

Серед факторів виробництва прийнято виділяти шкідливі фактори і небезпечні фактори. Виробничий фактор, дія якого на працівника

призводить до травми або раптового різкого погіршення здоров'я, називається небезпечним. Якщо виробничий фактор призводить до захворювання або зниження працездатності, то він вважається шкідливим. До групи шкідливих виробничих факторів трудового процесу входять фізичні перевантаження (статичні, динамічні), нервово-психічні перевантаження (психічне перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Процес праці здійснюється в певних умовах виробничого середовища. Це сукупність факторів фізичної, хімічної та біологічної природи, що діють на людину разом із соціально-економічними факторами в процесі її трудової діяльності. Виробниче середовище і фактори трудового процесу, які ще називають психофізіологічними факторами, у своїй сукупності складають умови праці.

До найважливіших, шкідливих фізичних факторів належать: підвищена запиленість повітря робочої зони, мікроклімат виробничих приміщень, підвищений рівень інфрачервоного випромінювання, підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання, підвищений рівень вібрації, шуму, інфра- та ультразвуку, підвищений або знижений барометричний тиск, підвищений рівень електромагнітного випромінювання в зоні робочого місця, підвищений рівень статичної електрики, небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, підвищена або знижена іонізація повітря, відсутність або недолік природного освітлення, недостатні або великі перепади освітленості робочого місця. площа, підвищена яскравість світла, знижена контрастність, світлова пульсація.

Використання комп'ютерної техніки характеризується шкідливим впливом електромагнітного випромінювання (ЕМВ) моніторів комп'ютерів. Ступінь впливу цього виду випромінювання на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності, тривалості опромінення та його характеру (безперервне чи модульоване), розміру опромінюваної поверхні та особливостей організму. Біологічна дія ЕМП низької частоти, створюваної

монітором, викликає функціональні розлади центральної нервової та серцево-судинної системи людини, а також певні зміни складу крові, особливо виражені при високій інтенсивності електромагнітного поля.

Тривалий вплив ЕМП малої інтенсивності призводить до різних нервових і серцево-судинних розладів (головний біль, втомлюваність, порушення сну, болі в серці та ін.). Можливі порушення ендокринної системи і зміни складу крові.

Також диспетчер, який працює за монітором і радаром, багато працює сидячи у вимушеному положенні з великою рухливістю рук. Це вимагає напруги очей, що призводить до болю в очах і головного болю. Наслідком сидячої роботи є біль у спині.

Під час роботи з моніторами на організм людини впливає низка факторів фізичного характеру, більшість з яких знаходяться в межах норми, відповідно до чинних нормативних документів. Але при роботі з комп'ютером прямі сонячні промені викликають збільшення контрастності навколишніх предметів, що відволікає увагу. Розумова робота часто викликає уповільнення пульсу. Під час розумової праці підвищується артеріальний тиск, частішає дихання, посилюється кровопостачання головного мозку, зменшується кровопостачання кінцівок і черевної порожнини. При напруженій розумовій роботі порушується тонус м'язів, судин головного мозку і серця. Слід зазначити, що розумова праця дуже тісно пов'язана з роботою органів чуття, насамперед зору та слуху.

Негативний вплив монітора на зір проявляється у вигляді різі в очах, печії, болю в очах, надбрівної області, нечіткості меж зображення предмета, викликаного тимчасовим порушенням світлочутливого апарату ока.

Ці явища часто супроводжуються головним болем, тяжкістю в голові, загальною втомою, сонливістю, млявістю. Щоб цього не сталося, необхідно дотримуватися правил вибору приміщення, розташування робочих місць, дотримуватись рекомендацій щодо гігієни та освітлення.

5.6. Забезпечення нормальних умов праці.

Вимоги до мікроклімату. Забезпечення здорових і безпечних умов праці у сфері виробництва досягається дотриманням чинних нормативних документів, для діючих об'єктів встановленням таких фактичних значень коефіцієнтів, які не суперечать нормативам.

Праця людини завжди протікає в певних метеорологічних умовах, які визначаються сукупністю температури повітря, швидкості руху повітря, його відносної вологості, барометричного тиску і теплового випромінювання від нагрітих поверхонь.

Всі види робіт у виробничих приміщеннях за складністю роботи поділяються на 3 категорії.

Робота оператора РЛС, диспетчера відноситься до категорії робіт з енерговитратами до 150 ккал/год згідно ГОСТ 12.1-005-88 відповідає категорії - легка - 1 б.

Мікроклімат виробничих приміщень або метеорологічні умови визначаються такими параметрами:

- а) температура повітря  $t$ , °С;
- б) відносна вологість повітря  $\varphi\%$ ;
- в) швидкість руху повітря на робочому місці  $V$ , м/с.

Параметри мікроклімату, іонний склад повітря, вміст шкідливих речовин на обладнаних робочих місцях повинні відповідати вимогам пункту 2.4. СН 4088-86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»; ГОСТ 12.1.005-88, ССГБ «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони», СН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих і громадських приміщень»

Вимоги до освітлення. Відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99 освітлення в кімнаті з ЕОМ має бути суміщеним.

Для оцінки освітленості використовуються наступні величини: люкс (люкс) - рівень освітленості поверхні площею 1 м<sup>2</sup>, на яку рівномірно падає світловий потік в 1 люмен; люмен - світловий потік від опорного джерела в одній міжнародній свічці, розташованій у вершині тілесного кута в 1

стерадіан;  $\text{nit}$  - яскравість поверхні, що світиться, від якої світло поширюється в перпендикулярному напрямку з силою 1 свічка на  $1 \text{ м}^2$ ; свічка - свічкова потужність точкового джерела, що випромінює світловий потік  $1 \text{ лм}$ , який рівномірно розподіляється в середині тілесного кута  $1$  стерадіан.

Відчуття світла при дії на око людини викликають електромагнітні хвилі так званого оптичного діапазону.

Поле оптичного електромагнітного випромінювання розташоване між полем рентгенівського випромінювання і полем радіовипромінювання.

Гігієнічні вимоги до промислового освітлення базуються на психофізичних особливостях сприйняття світла та його впливу на організм людини.

Освітлення робочих приміщень може здійснюватися природним і штучним освітленням. При недостатньому природному освітленні використовують загальне освітлення. Останнє - це освітлення, в якому одночасно використовується природне і штучне освітлення. Загальним освітленням називають освітлення, лампи якого висвітлюють всю площу приміщення.

Природне освітлення повинно проникати через бічні світлові отвори, орієнтовані, як правило, на північ або північний схід і забезпечувати коефіцієнт природного освітлення не менше  $1,5\%$ . Розрахунки проводяться згідно СНиП 11-4-79.

У разі виробничої необхідності допускається експлуатація моніторів, дисплеїв і в приміщеннях без природного освітлення за погодженням з органами державного нагляду за охороною праці та уповноваженими представниками санітарно-епідеміологічної служби.

Вікна приміщень повинні мати регульовані пристрої для відкривання та жалюзі, гардини, зовнішні штори. Для запобігання появи відблисків на екранах моніторів забороняється використовувати люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Рівень освітленості робочого столу в зоні розміщення документів повинен бути в межах 300-500 лк. При неможливості забезпечити такий рівень освітленості системою загального освітлення допускається використання світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрана та збільшення освітленості екрана до понад 300 люкс.

Також необхідно передбачити обмеження безпосередньої близькості до джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, лампи) і знаходяться в полі зору, не повинна перевищувати 200 кд/м<sup>2</sup>.

Необхідно обмежити нерівномірний розподіл яскравості в полі зору осіб, які працюють з потерпілими, при цьому співвідношення яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і оточуючих предметів (стін, обладнання) 5: 1.

Розрахунок системи освітлення проводиться з використанням коефіцієнта використання світлового потоку, який дорівнює відношенню світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп. Його значення залежить від характеристик світильника, розміру приміщення, кольору стін і стелі, який характеризується коефіцієнтами відбиття стін і стелі.

Щоб виключити попадання прямих світлових потоків на екрани дисплеїв, світильники загального освітлення встановлюють з боку робочого місця, паралельно лінії зору оператора і стіні з вікнами. Таке розміщення ламп дозволяє встановити їх послідовне включення в залежності від кількості природного освітлення і виключає подразнення очей світлотіньовими смугами, які виникають при поперечному розміщенні ламп.

Розрахунок локального світлового потоку виконується тому, що в цьому випадку рекомендована система змінного освітлення для запобігання відбитих відблисків від поверхні столу та екрана монітора. Отже, для забезпечення нормальних умов праці, відповідно до нормативних вимог,



для освітлення робочого місця необхідно використовувати задану кількість ламп певної потужності.

Для дорослих користувачів тривалість роботи на моніторах і радарях не повинна перевищувати шести годин на добу. Для викладачів вищих і середніх навчальних закладів, учителів шкіл, ліцеїв і гімназій тривалість роботи безпосередньо на заняттях повинна становити не більше чотирьох годин на день, а для інженерів, які обслуговують навчальний процес, - не більше шести годин. Для будь-якого дорослого користувача тривалість безперервної роботи з монітором не повинна перевищувати двох годин, після чого необхідна перерва на 15-20 хвилин.

Використання негативної полярності (яскраві символи на темному фоні) дозволяє зменшити середню яскравість екрана порівняно з позитивною яскравістю (світлий фон і темні символи). Таким чином, зменшується вплив мерехтіння на зір без зниження максимальної яскравості.

Оскільки електромагнітне випромінювання походить від усіх частин монітора (багато вимірювань показали, що рівень випромінювання з боків і ззаду монітора вищий, ніж з передньої частини), найбезпечніше встановити комп'ютер у кутку кімнати або в місце, де ті, хто на ньому не працює, не знаходяться збоку чи позаду машини. Приміщення, де знаходяться комп'ютери, має бути досить просторим і добре провітрюваним. Мінімальна площа комп'ютера - 6 м<sup>2</sup>, мінімальний об'єм - 20 м<sup>3</sup>.

Рідкокристалічні, плазмові та електролюмінесцентні дисплеї набагато безпечніші з точки зору випромінювання порівняно з дисплеями на електронно-променевих трубках. Однак останні перевершують їх за якістю зображення (роздільна здатність, контрастність).

Ергономічні, гігієнічні та фізкультурно-оздоровчі заходи дозволяють кожному, хто працює з комп'ютером, знизити негативний вплив комп'ютера на здоров'я практично до нешкідливого рівня.

Основними заходами профілактики комп'ютерних захворювань є оптимальна організація робочого місця, тобто використання таких засобів,

як комп'ютерний стіл, стілець із можливістю зміни висоти та кута нахилу спинки, підставка для паперів, що використовуються для набору тексту. Монітор повинен бути оснащений підставкою, що дозволяє змінювати кут його нахилу. Екран монітора повинен бути на відстані більше 45 см від очей. Бажано нахилити його так, щоб користувач дивився на нього трохи зверху під кутом 5-35 градусів до поверхні екрану.

Кут нахилу клавіатури до столу рекомендується встановлювати в межах 5-10 градусів. Серед заходів профілактики захворювань м'язів, опорно-рухового апарату основними вважаються: зручність сидінь, тобто їх висота і відповідність природному вигину хребта. При роботі за комп'ютером користувач повинен сидіти правильно. Це означає: ви повинні сидіти прямо, не сутулячись, рівень зап'ястя повинен бути на рівні кистей, стопи повинні стояти на підлозі або стояти прямо, не схрещуючи один одного.

Стопи по відношенню до поверхні підлоги повинні бути розташовані під кутом 5°-15°. Вологість повітря в приміщенні повинна бути в межах 40-60%. Завершуючи цей розділ, можна сказати, що причиною відхилень у здоров'ї користувачів є не стільки самі комп'ютери, скільки недостатньо суворе дотримання принципів ергономіки та санітарних вимог.

## **6.6 Пожежна безпека.**

Першочерговим завданням пожежної безпеки є попередження пожеж. Під пожежною профілактикою розуміють комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежам, обмеження їх поширення, створення умов для успішного гасіння пожежі. Протипожежні заходи розробляються і здійснюються спільно, в тісному зв'язку з усіма проектними, будівельними та експлуатаційними роботами.

Чергова технічного персоналу забезпечена засобами пожежогасіння (вуглекислотні вогнегасники типу ВВ-2). Проходи між рядами і виходи не

повинні бути переповненими. При виникненні пожежі, перш за все, потрібно вимкнути джерело струму, повідомити пожежну охорону про пожежу.

Евакуюйте сторонніх осіб, які можуть перебувати в небезпечній зоні, і лише після цього приступайте до гасіння пожежі та рятування цінного обладнання.

Один вуглекислотний вогнегасник ВВ-2 розрахований на приміщення площею 40-50 м<sup>2</sup>. Для ліквідації невеликих пожеж можна використовувати деякі порошкові матеріали (хлориди лужних металів, соду, пісок та ін.), які подають у зону горіння порошковими вогнегасниками. Будівля, в якій знаходиться наше приміщення, повинна мати запасний вихід на випадок екстреної евакуації працівників та неможливості використання основного виходу.

Електропожежний сповіщувач використовується для швидкого оповіщення пожежної частини про виникнення пожежі в приміщенні. Електрична пожежна сигналізація виявляє пожежу на початковій стадії та сповіщає про місце її виникнення, а також автоматично вмикає стаціонарні установки пожежогасіння.

Автоматичні сповіщувачі подають сигнал, коли є ознаки пожежі. Сповіщувачі АТП-1, АТП-3 і АТП 3М спрацьовують за рахунок термічної деформації (при 80-100 °С) біметалічних пластин і мають розрахункову зону обслуговування в приміщеннях до 15 м<sup>2</sup>. Комбіновані теплодимові сповіщувачі типу КІ-1 мають чутливий елемент у вигляді іонізаційної камери (реакція на дим) і терморезистор (реакція на тепло). Робоча температура цих сповіщувачів 50-80 °С, площа обслуговування 100 м<sup>2</sup>.

Пропоновані нами заходи з охорони праці спрямовані в першу чергу на те, щоб уникнути нещасних випадків, які можуть статися на підприємстві. В іншому передбачені заходи з охорони праці відповідають вимогам нормативних документів та актів і забезпечують нормальну, ефективну та безпечну для здоров'я людини виробничу діяльність.

З точки зору пожежної безпеки розроблена експериментальна радіомовна установка не становить загрози, оскільки не має самозаймистих частин.

Відзначимо заходи профілактики пожежі:

- організаційні - правильна експлуатація приладів, інструментів, паяльників та справне утримання робочих місць і лабораторії в цілому, протипожежний інструктаж;
- технічні - дотримання протипожежних правил і норм при проектуванні будівлі, при влаштуванні електропроводки, опалення, вентиляції, освітлення, доцільне розміщення обладнання;
- режимний характер - заборона куріння в неналежних місцях;
- оперативні - своєчасні профілактичні огляди, ремонти та випробування.

Автоматичні та кнопкові сповіщувачі розміщені в кожній лабораторії, а також у коридорі біля пожежних шаф. Для ліквідації невеликих пожеж на підприємствах застосовують первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, азбестові покривала, пожежні рукава, що працюють від внутрішнього протипожежного водопроводу.

Пожежні стволи розміщують у протипожежних шафах. На кожному поверсі по дві шафи. Крім того, на кожній другій сходовій площадці встановлюється одна додаткова шафа.

## ВИСНОВКИ

Якщо розглядати звіт NASA як еталон для аеродинамічних характеристик профілю NASA 0012, з усіх трьох кодів панелей, використаних у цій дипломній роботі, JavaFoil має найточніші результати. На графіку кривої підйому всі три коди панелі та аеродинамічна труба мають майже однаковий нахил сл проти кривої  $\alpha$ , і вона була близькою до  $2\pi$ . У кривій моменту висунення JavaFoil також показала найкращий результат із своєю лінійною кривою. При обчисленні коефіцієнта лобового опору коди панелей не враховують компонент опору тертя, що призводить до нижчого значення коефіцієнта лобового опору. Але також у цьому обчисленні JavaFoil зафіксував найкращий результат серед кодів панелей, і його крива найближча до кривої у звіті NASA. XFOIL (тобто також XFLR5) має найнижче значення коефіцієнта опору в порівнянні, а з іншого боку це вимірювання в аеродинамічній трубі з найвищими значеннями коефіцієнта опору.

З точки зору інтерфейсу користувача, JavaFoil і XFLR5 знаходяться на подібному рівні. Обидва коди панелей мають гарне та зручне робоче середовище з багатьма параметрами для виконання. Робота з цими двома кодами панелі була досить швидкою, а експорт результатів для подальшого аналізу доступний простим натисканням кнопки. З іншого боку, XFOIL має інтерфейс користувача, з яким важко працювати, тому необхідно знати точні команди для виконання заданих завдань у певний проміжок часу.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Воробьева А.А. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ [Электронный ресурс]. - СПб УИТМО. 2012 - 168 с. - Режим доступа <https://staff.tiame.uz/storage/users/153/books/HZCp5NlcFRJJcCnPYyd0yjr g3LdkztNVggrvFHJt.pdf>
2. Ambrosia, V.G.; Wegener, S.; Zajkowski, and others. The Ikhana unmanned airborne system (UAS) western states fire imaging missions: From concept to reality (2006–2010) / Geocarto Int.- 26. - 2011. - pp. 85-101.

3. Hinkley, E.A.; Zajkowski, T. USDA Forest Service-NASA: Unmanned aerial systems demonstrations—pushing the leading edge in fire mapping / *Geocarto Int.* - 26. - 2011. - pp.103-111.
4. Fladeland, M., Sumich, M., Lobitz, B. and others. The NASA SIERRA science demonstration programme and the role of small-medium unmanned aircraft for earth science investigations. / *Geocarto Int.* - 26. - 2011. - pp.157-163.
5. Breckenridge, R.P.; Dakins, M.E. Evaluation of bare ground on rangelands using unmanned aerial vehicles./ *GISci. Remote Sens.* - 2011.- 48.- pp.74-85.
6. Laliberte, A.S.; Winters, C.; Rango, A. UAS remote sensing missions for rangeland applications. / *Geocarto Int.* - 26. - 2011. - pp.141-156.
7. Laliberte, A.S.; Rango, A. Image processing and classification procedures for analysis of sub-decimeter imagery acquired with an unmanned aircraft over arid rangelands./ *GISci. Remote Sens.* - 48.- 2011. - pp.4-23.
8. Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H. and others. Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform./ *Earth Surf. Proc. Land.* - 32. - 2007.- pp. 1705-1725.
9. Dunford, R., Michel, K., Gagnage, M. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest./ *Int. J. Remote Sens.* - 30. - 2009. - pp. 4915-4935.
10. Hervouet, A., Dunford, R., Piegay, H. and others. Analysis of post-flood recruitment patterns in braided channel rivers at multiple scales based on an image series collected by unmanned aerial vehicles, Ultralight aerial vehicles, and satellites/ *GISci. Remote Sens.* - 48.- 2011- pp. 50-73.
11. International Civil Aviation Organization. Doc.10019, Manual on Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). - 2015.
12. Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer [Электронный ресурс] / Jet Propulsion Laboratory, 2021. Режим доступа:

- <https://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.overview.html> (доступ - 16 листопада, 2021)
13. AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) [Електронний ресурс] / EASA Earth on-line, 2021. Режим доступу: <https://earth.esa.int/web/eoportal/airborne-sensors/content/-/article/aviris> (доступ - 17 листопада, 2021)
  14. Kruse, J. W., Boardman, A. B., Lefkoff A. B. and others. HYMAP : AN AUSTRALIAN HYPERSPECTRAL SENSOR SOLVING GLOBAL PROBLEMS – RESULTS FROM USA HYMAP DATA ACQUISITIONS / Proceeding of the 10th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Adelaide, Australia, 21-25 August. - 2000 — Causal Productions. - pp. 1-17.
  15. Cocks T., Jenssen R., Stewart A., Wilson I. and Shields T. THE HYMAP AIRBORNE HYPERSPECTRAL SENSOR: THE SYSTEM, CALIBRATION AND PERFORMANCE / Proceeding of the 1 st EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy, Zurich, October 1998. - Paris: European Association of Remote Sensing Laboratories.
  16. Ларін В. Ю., Додатчук І.Л. Дистанційне зондування покладів корисних копалин за допомогою безпілотного авіаційного комплексу / СТАЛИЙ РОЗВИТОК ГЛОБАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ CNS/ATM: тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції, 22-25 листоп. – К. : НАУ, 2021. – С.31-33.
  17. Riley, D., Cudahy, T., Hewson, R., Jansing, D., Hackwell, J. SEBASS imaging for Copper Porphyry and Skarn Deposits, Yerington, NV / Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration" edited by B. Milkereit. - 2007. - p. 1151-1157.
  18. Hackwell J.A., Warren D.W., Bongiovi R.P., and other. LWIRIMWIR Imaging Hyperspectral Sensor for Airborne and Ground-Based Remote



- Sensing / Proc. SPIE, Imaging Spectrometry II. - vol. 2819. - 1996 - pp.102-117
19. R. Greg Vaughan, Wendy M. Calvin, James V. Taranik SEBASS hyperspectral thermal infrared data: surface emissivity measurement and mineral mapping / Remote Sensing of Environment — 85 - 2003- pp.48–63.
  20. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. (ред.) Магниторазведка: Справочник геофизика - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1990. - 470 с.
  21. М.И. Эпов, И.Н. Злыгостев. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке [Электронный ресурс] / Интерэкспо ГеоСибирь- №3. - 2012. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyhletatelnyh-apparatov-v-aerogeofizicheskoy-razvedke> (Доступ 03.12.2021)
  22. Christensen, P. R., M. D., Piatek, J. L., Ruff, S. W., & Stefanov, W. L. A thermal emission spectral library of rock-forming minerals. / Journal of Geophysical Research. -2000. — 105(E4). - pp. 9735 – 9739.
  23. Johnson, B. R. In scene atmospheric compensation: Application to SEBASS data collected at the ARM site. Part I./ Aerospace Corporation technical report. - 1998- ATR-99 (8407).
  24. Infrared camera optris PI 400i / PI 450i [Электронный ресурс] / OPTRIS Infrared Measurements. - 2021 — Режим доступа: <https://www.optris.global/thermal-imager-optris-pi-400i-pi-450i> — (доступ 03.12.2021).
  25. Великанов Д.А. Высокочувствительные методы исследования магнитных свойств кристаллических и плёночных магнитных систем / Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. - Красноярск. - 2017. - 436с.
  26. GEM GSM-19 Cost Effective and High Precision Overhauser Magnetometer [Электронный ресурс] / GEM Systems - Режим доступа:

- <https://www.gemsys.ca/rugged-overhauser-magnetometer/> - (доступ 09.12.2021).
27. Samson, C., Straznicky, P., Laliberte, J., and others. Designing and building an unmanned aircraft system for aeromagnetic surveying / 80th Annual meeting of the Society of Exploration Geophysicists. - 29. — Denver, USA. - 2010. - pp. 1167-1171.
  28. Samson, C., Cunningham, M., Wood, A. and others. Magnetic surveying using an unmanned system for geological mapping / Unmanned Systems Canada Conference. Montreal: 4-6 November. - 2014.
  29. FGM3D [Электронный ресурс] /SENSYS : Magnetometers& Survey solutions . - Режим доступа: <https://sensysmagnetometer.com/products/fgm3d/> - (доступ -10.12.2021).
  30. Tezkan B., Stoll J.B., Bergers R., Großbach H. Unmanned aircraft system proves itself as a geophysical measuring platform for aeromagnetic surveys / First Break. - Vol 29. - No 4. -2011. - pp.103 – 105.
  31. Cunningham M. Aeromagnetic surveying with unmanned aircraft systems // A thesis of Master of Science Diss. - Carleton University, Canada, Ontario. - 2016. -144 p.
  32. Maley J.A. An investigation into low-cost manufacturing of carbon epoxy composites and a novel “mouldless” technique using the Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM) method / M.A.Sc. Thesis. - Carleton University. - 2008.- 126p.
  33. Samson C., Straznicky P., Laliberte J. and others. Designing and building an unmanned aircraftsystem for aeromagnetic surveying / Proceedings of the SEG 80th Annual International Meeting Denver, Colorado. - SEG Expanded Abstracts, USA. - 2010. - pp. 1167–1171.
  34. Sterligov B, Cherkasov S. Reducing Magnetic Noise of an Unmanned Aerial Vehicle for High-Quality Magnetic Surveys / International Journal of Geophysics Volume. - Hindawi Publishing Corporation. - 2016. - 7p. - [dx.doi.org/10.1155/2016/4098275](https://doi.org/10.1155/2016/4098275).

35. Злыгостев И.Н., Савлук А.В. Аэрогеофизический комплекс для измерения вектора магнитного поля земли с высокой пространственной плотностью: тенденция развития, результаты разработок / Сборник научно-технической конференции “Научное приборостроение: современное состояние и перспективы развития”, Москва, 15-16 ноября. - 2016. - с.71-74
36. Laliberte A.S., Goforth M.A., Steele C.M., Rango A. Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments / Remote Sensing - 2011 — 3(11)- pp.2529-2551. <https://doi.org/10.3390/rs3112529>
37. Parshin A. V., Morozov V. A., Blinov A. V., and others. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multirotor UAV as a promising replacement for traditional ground survey / Geo-spatial Information Science. - Wuhan University: Taylor & Francis Group. - 2018. - DOI: 10.1080/10095020.2017.1420508
- 38.1. Опис модему на сайті-виробника Microhard URL: <https://www.microhardcorp.com/P400.php>
- 39.2. HEX Herelink опис системи зв'язку від виробника URL: <https://docs.cubepilot.org/user-guides/herelink/herelink-overview>
- 40.3. Опис модему зв'язку Silvus URL: <https://silvustechologies.com/products/streamcaster-radios/>
- 41.4. Опис модему зв'язку Taisync Viulinx URL: <https://taisync.com/modules/>
42. <https://doc.makeflyeasy.com/> <https://ardupilot.org/plane/index.html>
43. <https://docs.px4.io/master/en/concept/architecture.html>
44. Блажей Б.В., Національний авіаційний університет, м. Київ,
45. Актуальні та перспективні системи зв'язку БПЛА з НСК 2021\_Збірник тез CNS-ATM\_2021\_електронний
46. *Louis C. Westphal*. Handbook of Control Systems Engineering. — 2nd edition;

47. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. — Springer, 2001. — T. 635. — 1063 c. — ISBN 978-0792374947.
48. Consideration about UAV command and control. Ground Control Station URL:
49. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1297/1/012007>
50. Prisacariu Vasile<sup>1</sup>, Cătălin Cioacă<sup>1</sup>, Doru Luculescu<sup>1</sup>, Andrei Luchian<sup>2</sup> and Sebastian Pop<sup>2</sup> Published under licence by IOP Publishing Ltd
51. [https://www.researchgate.net/publication/329422590\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicle\\_Classification\\_Applications\\_and\\_Challenges\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/329422590_Unmanned_Aerial_Vehicle_Classification_Applications_and_Challenges_A_Review)
52. M. Boon, A. P. Drijfhout, and S. Tesfamichael, "Comparison of a fixedwing and multi-rotor uav for environmental mapping applications: A case study," ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLII-2/W6 08 2017.
53. G. Ellis, "Chapter 13 - model development and verification," in Control System Design Guide (Fourth Edition) (G. Ellis, ed.) Boston: Butterworth-Heinemann, fourth edition ed., 2012.
54. PX4 Dev Team, "Controller diagrams."
55. N. Kuyvenhoven. PID Tuning Methods: An Automatic PID Tuning with MathCad. Calvin College, 2002.
56. L. Kunqin, Y. Shengyi, and S. Jiao. "Design and Simulation of the Longitudinal Autopilot of UAV Based on Self-Adaptive Fuzzy PID Control." In: International Conference on Computational Intelligence and Security (2009)
57. Stevens, B. L., Lewis, F. L., and Johnson, E. N. *Aircraft Control and Simulation*, 3rd ed., John Wiley, 2016. 53, 94
58. Dorf, R. C., Bishop R. H., *Modern Control Systems*, 13th ed., Pearson, 2017. 64, 65, 73

61. Ogata, K., *Modern Control Engineering*, 5th edition, Prentice Hall, 2010. 64, 65, 73
62. Megson, T., *Aircraft Structures for Engineering Students*, 5th ed., 2012. 32, 182
63. Berger, A. S., *Embedded Systems Design*, CMP Books, 2002. 125
64. Cady, F. M., *Microcontrollers and Microcomputers*, Oxford University Press, 1997. 124, 125
65. Autopilot Design of Unmanned Aerial Vehicle Ahmed Hassan Ahmed\*, Bahaaeldin Gamal, Ahmed Nasr Ouda, Ahmed Mohsen Kamel and Yehia Zakaria El-Halwagy *Military Technical Research Center, Cairo, Egypt*  
[https://www.researchgate.net/publication/224057242\\_A\\_HardwareSoftware\\_Architecture\\_for\\_UAV\\_Payload\\_and\\_Mission\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/224057242_A_HardwareSoftware_Architecture_for_UAV_Payload_and_Mission_Control)  
<http://www.viewprotech.com/index.php.ac=article&at=read&did=279>
66. Азаров І., Сидоренко В., Серета Ю. Використання безпілотного літального апарата як засобу дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій // *Безпека життєдіяльності*. – 2015. – № 2. – С. 30.
67. Безпілотні системи офіційний сайт фірми BAT ZALA AERO GROUP [Електронний ресурс]. URL: <http://zala.aero>
68. Беляєв Б. І., *Оптичне Дистанційне зондування* / Беляєв Б. І., Катковский Л. В. Мінськ. 2006. 455 с.
69. Бондар О.І. Моніторинг навколишнього середовища / [О. І. Бондар, І. В. Корінько, В. М. Ткач, О. І. Федоренко]; під ред. О. І. Федоренко. – К.-Х.: ДІІ-ГТІ, 2005. – 126 с.
70. Гребеніков А. Г., Мяслиця А. К., Парфенюк В. В. *Загальні види і характеристики безпілотних літальних апаратів: справ, посібник*. Харків. 2008. 377 с.
71. Зосимович М. А. *Безпілотники для екологічного моніторингу*. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 484 с.

72. Інформація про стан навколишнього природного середовища // Словник-довідник з екології: навч.-метод. посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. — Херсон: ПП Вишемирський В. С., 2013. — С. 104.
73. Катковский Л. Б. Багатоспектральне Дистанційне зондування. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 396 с.
74. Козодеров В. В., Дмитрієв Є. В., Каменцев В. П. Когнітивні технології дистанційного зондування в природокористуванні. М.: МДУ ім. М. В. Ломоносова, Тверський державний ун-т. 2016. С. 279.
75. Комягін С. І. Електромагнітна стійкість безпілотних літальних апаратів. М.: Красанд. 2015. 432 с.
76. Коротких А. М. Використання даних дистанційного зондування. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 88 с.
77. Кошкін А. А. Безпілотні авіаційні системи. М.: Стратегічні пріоритети. 2016. С. 676.
78. Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів / Триснюк В. М. [та ін.] / Сучасні інформаційні системи Advanced Information Systems. 2018. Т. 2, № 4. С. 124-127
79. Погорелов В. І. Безпілотні літальні апарати. Навантаження і нагрів / Навчальний посібник для СПО. М.: Юрайт. 2018. 230 С.
80. Растопчин В. В. Безпілотні авіаційні системи / Растопчин В. В., Румянцев С. С. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.avia.ru>
81. Рендал У. Біард, Тімоті У. Маклейн. Малі безпілотні літальні апарати. Теорія і практика. М.: Техносфера. 2015. 312 с.