

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ  
СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія аеронавігації**

**ПРОГРАМА**

навчальної дисципліни  
«Принципи польоту (Аерогідродинаміка)»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
**Аеронавігація**

**Харків 2021**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 23.09.2021 № 8

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу Харківського  
національного університету внутрішніх  
справ  
Протокол від 22.09.2021 № 2

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 10.09.2021  
№ 2

**Розробник:** професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач циклової  
комісії аеронавігації, к. т. н., с. н. с., спеціаліст вищої категорії, викладач –  
методист, Тягній В. Г.

### **Рецензенти:**

1 Професор Кременчуцького Державного національного університету ім.  
Михайла Остроградського, д. ф - м. н., професор, лауреат Державної премії  
України в галузі науки і техніки, Єлізаров О. І.

2 Викладач-методист циклової комісії природничих дисциплін КЛК  
ХНУВС, к. т. н., доцент, спеціаліст вищої категорії, лауреат Державної премії  
України в галузі науки і техніки, Лісовенко В. Д.

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма обов'язкової компоненти навчальної дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)» складена відповідно до освітньої професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Аеронавігація».

**Предметом** вивчення навчальної є використання теоретичних основ при утворенні підйомної сили на ЛА: закон Архімеда, закони І. Ньютона, теорема теоретичної механіки про імпульс сили, що виникає при зміні кількості руху, а також основні закони і рівняння гідроаеромеханіки: рівняння нерозривності (рівняння Л. Ейлера), рівняння балансу енергії рухомого потоку (рівняння Д. Бернуллі), рівняння збереження енергії за термодинамічними законами і рівняння стану газового потоку (рівняння Клайперона-Менделєєва).

**Міждисциплінарні зв'язки:** дисципліна відноситься до циклу професійної підготовки і вивчається після вивчення дисциплін: “Вища математика”, “Фізика”, “Інформаційні технології”, “Вступ аеронавігацію”, “Матеріалознавство”, “Технічна механіка” та інших дисциплін. Одночасно вивчаються дисципліни: “Метрологія, стандартизація та сертифікація”, “Принципи польоту - І”, “Конструкція ПС і АД”, “Безпека авіації”.

Дисципліна Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)» є базовою для вивчення фахових дисциплін “Динаміка польоту”, “Експлуатація ПС і АД”, “Виконання польоту людиною та обмеження”, “Льотні характеристики та планування польотів”, “Експлуатаційні процедури”, “Принципи польоту - II”, “Практична аеродинаміка”, “Авіаційна безпека”, “Використання авіації в народному господарстві” та інших дисциплін.

**Програма навчальної дисципліни складається з таких тем:**

«Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів».

Основи кінематики рідини і газу».

«Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла Лавалю».

«Закономірності вихрового руху газового потоку.

Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила».

«Основи теорії примежового шару».

«Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі».

«Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь».

«Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту».

«Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів».

## **1. Мета та завдання навчальної дисципліни**

1.1 Метою викладання навчальної дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)», як фундаментальної теоретичної бази дисциплін “Аеродинаміка”, “Динаміка польоту”, “Принципи польоту”, “Практична аеродинаміка”, “Льотні характеристики та планування польотів” є вивчення закономірностей руху рідини і газу, механічної та теплової взаємодії між середовищем і твердими тілами при їх відносному русі, фізичної сутності і природи виникнення аеродинамічних сил і моментів, залежність їх від фізико-механічних властивостей і фізичних параметрів середовища, умов руху з різними швидкостями, а також основ моделювання обтікання тіл з використанням газодинамічних особливостей.

Об’єктом дисципліни є літальні апарати, які здійснюють політ за одним з принципів польоту: аеростатичним, аеродинамічним чи балістичним.

1.2 Основними завданнями вивчення дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)» є оволодіння методами визначення:

- параметрів руху рідини і газу в аеродинамічних трубах і гідроканалах;
- енергетичних характеристик руху рідини і газу;
- умов обтікання твердих тіл рідиною і газами;
- фізичної сутності взаємодії між середовищем і обтікаємими тілами, силових і енергетичних характеристик явищ обтікання;
- особливостей руху рідини і газу в примежовому шарі.

1.3 Згідно з освітньою програмою здобувачів вищої освіти повинні:

### **знати:**

- основні фізико-механічні властивості і параметри рідини і газу;
- основні закони аерогідрогазодинаміки рухомої рідини і газу;
- фізичну сутність процесів при взаємодії між рідиною і твердим тілом;
- аеродинамічні характеристики профілю, крила і несучого гвинта;
- загальні принципи компоновання повітряних суден;
- газодинамічні особливості для математичного моделювання обтікання твердих тіл;
- теоретичні моделі розрахунку аеродинамічних характеристик несучого гвинта вертольоту і особливості його роботи;
- особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків та розріджених газів.

### **вміти:**

- аналізувати вплив різних чинників на взаємодію середовища і твердого тіла;
- використовувати основні закони аерогідродинаміки для визначення параметрів течії в різних умовах і пояснення виникнення на ЛА аеродинамічних сил і моментів;
- розраховувати аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь за результатами експериментальних досліджень;
- аналізувати вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на аеродинамічні характеристики повітряного судна;
- пояснити можливість і способи керування примежовим шаром і величинами аеродинамічних сил на несучих поверхнях повітряних суден.

1.4. Форма підсумкового контролю – залік, курсова робота.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 135 година / 4,4 кредиту ECTS

1.5. Програмні компетентності:

Програмні компетентності, які формуються при вивченні навчальної дисципліни:		
<b>Інтегральна компетентність</b>	Здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі транспорту або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів вивчення елементів транспортної системи і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов.	
<b>Фахові компетентності (ФК)</b>	<b>ФК-12</b>	Знати технічні вимоги до повітряних суден і авіаційних двигунів, експлуатацію повітряних суден і авіаційних двигунів, експлуатацію авіаційного і радіоелектронного обладнання, можливість та обмеження людини в льотній діяльності, принципи польоту.

## 2. Короткий опис змісту навчальної дисципліни

**Тема № 1. Основні поняття і співвідношення аерогідродинаміки. Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів.**

Аеродинаміка, як наука і її складові частини. Основні поняття і визначення аерогідродинаміки, її складові частини. Вклад російських і українських вчених у розвиток аерогідродинаміки, як науки і розвиток вітчизняної авіації. Принципи польоту літальних апаратів, види і типи ЛА. Будова

атмосфери Землі, її основні фізичні властивості і параметри, міжнародна стандартна атмосфера. Поняття про теоретичну, експериментальну і прикладну аеродинаміку. Загальні відомості про рідину і газу. Фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів. Гіпотеза суцільності середовища. Принципи зворотності руху і моделювання в аеродинаміці і їх практичне використання при проведенні досліджень. Поняття про аеродинамічні труби і гідро лотки

## **Тема № 2. Основи кінематики рідини і газу.**

Поняття потоку рідини і газу, види рухів і його основні властивості. Прямолінійна рівномірна течія потоку. Поняття про обертальний рух частинок рідини і газу. Теоретичні моделі моделювання течії навколо твердих тіл. Фізична картина обтікання твердих тіл потоком рідини і газу. Рівняння стану газового потоку і взаємозалежність фізичних параметрів рідини і газу. Рівняння нерозривності рухомого потоку. Рівняння збереження енергії рухомого потоку. Рівняння балансу енергії рухомого потоку. Практичне застосування рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі в аерогідрогазодинаміці. Алгоритми розрахунку фізичних параметрів потоку рідини і газу.

## **Тема № 3. Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла Лавалю.**

Рівняння балансу енергії газового потоку з урахуванням стисливості середовища (рівняння Д. Бернуллі). Залежність фізичних параметрів газового потоку від швидкості його руху. Рівняння постійної масової витрати з урахуванням стисливості середовища (рівняння Л. Ейлера). Фізична сутність критичних параметрів газового потоку. Поняття про критичний переріз і критичну швидкість потоку. Теорія сопла Лавалю. Взаємозалежність між швидкістю руху і швидкістю звуку.

## **Тема № 4. Закономірності вихрового руху газового потоку. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила.**

Закономірності вихрової течії газового потоку. Поняття про напругу, інтенсивність, циркуляцію і індукційну швидкість. Основні теореми про вихорі. Рівняння Біо-Савара для нескінченного і напівнескінченного вихору. Фізична сутність вихрового і потенціального руху. Характеристика газодинамічних особливостей (вихровий шнур, сток, істок, диполь). Моделювання течії рідини і газу навколо твердих тіл з допомогою вихорів, стоків, витоків і диполів. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу.

## **Тема № 5. Основи теорії примежового шару.**

Загальні положення про течію в'язкої рідини і газу. Структура примежового шару. Градієнт швидкості по товщині примежового шару. Умови зміни структури примежового шару. Поняття про точку переходу ламінарної структури примежового шару в турбулентну. Фізична сутність числа Рейнольдса. Фізична сутність тертя в примежовому шарі. Ковзна напруга, сила тертя, алгоритм розрахунку коефіцієнтів тертя в залежності від структури течії в примежовому шарі. Коефіцієнти кінематичної і динамічної в'язкості. Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі при дозвукових швидкостях течії. Особливості обтікання циліндра потоком ідеальної і реальної рідини і газу. Сутність в'язкої кризи. Поняття про засоби і види керування примежовим шаром. Фізична сутність хвильового відриву в примежовому шарі, поняття про критичне число Рейнольдса.

## **Тема № 6. Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі.**

Виникнення і розповсюдження звукових хвиль збурювання середовища. Розповсюдження слабих збурювань середовища. Розповсюдження сильних збурювань середовища. Поняття про стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому потоці. Основні рівняння руху газової потоку на стрибку ущільнення. Зміна параметрів газового потоку на стрибку ущільнення. Особливості течії газового потоку навколо затуплених і ступінчатих циліндричних і конічних тіл при надзвукових швидкостях. Фізична сутність ударних хвиль і звукового удару. Практичне використання рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі при розрахунку фізичних параметрів на стрибку ущільнення.

## **Тема № 7. Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь.**

Призначення і форми несучих поверхонь ПС. Поняття про профіль крила і несучого гвинта. Геометричні характеристики профілю і несучих поверхонь. Поняття про середню аеродинамічну хорду крила. Системи координат, що використовуються в аерогідрогазодинаміці. Діаграми розподілу нормального тиску по поверхні профілю, епюри тиску по хорді профілю крила. Центр тиску, аеродинамічний фокус і парабола стійкості профілю крила. Утворення повної аеродинамічної сили і результуючого аеродинамічного моменту. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів аеродинамічних сил і моментів. Коефіцієнти аеродинамічних сил і моментів в проекціях на зв'язану і швидкісну вісі систем координат. Формули перерахунку коефіцієнтів аеродинамічних сил і моментів з швидкісної системи координат в зв'язану і навпаки. Залежність коефіцієнтів

аеродинамічних сил від геометричних і кінематичних параметрів обтікання. Сила лобового опору, її складові частини, залежність їх від геометричних параметрів несучих поверхонь і кінематичних параметрів обтікання. Профільний опір, його фізична сутність і складові частини: опір тертя і опір тиску. Індуктивний опір і його фізична сутність. Хвильовий опір, його фізична сутність і залежність від геометричних і кінематичних параметрів. Фізична сутність впливу стисливості середовища на аеродинамічні характеристики профілю крила. Залежність аеродинамічних коефіцієнтів підйомної сили і сили лобового опору від чисел Маха і Рейнольдса. Поняття про аеродинамічну якість і полярні діаграми I і II роду. Вплив стисливості середовища на аеродинамічну якість і полярну I роду. Поняття про відсмоктувальну силу профілю крила і полярну II роду, особливості побудови полярної діаграми II роду. Загальні відомості про керуючі поверхні крила, способи і види механізації крила. Характеристика засобів механізації крила і їх вплив на аеродинамічний коефіцієнт підйомної сили. Виконання і захист курсової роботи по розрахунку і побудові графіків аеродинамічних сил, аеродинамічної якості і полярних діаграм I і II роду згідно варіантів завдання.

## **Тема № 8. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту.**

Призначення, класифікація, види і основні елементи несучого гвинта вертольоту. Основні відомості про несучі гвинти. Геометричні і кінематичні характеристики несучого гвинта. Основні режими роботи несучого гвинта вертольоту. Загальні поняття про імпульсну теорію гвинта. Визначення кінематичних параметрів і тяги несучого гвинта на різних режимах роботи НГ. Особливості обтікання НГ при вертикальному і косому режимах обтікання. Практичне використання імпульсної теорії при розрахунку тяги НГ. Вихрова теорія розрахунку кінематичних параметрів несучого гвинта вертольоту. Визначення індуктивних швидкостей від НГ вертольоту. Індуктивний взаємовплив лопатей НГ. Поняття про ідеальний гвинт і визначення витрат для реального НГ. Сили і моменти, що діють на лопаті НГ. Розгляд динаміки лопаті в площині тяги і обертання НГ. Поняття про пружність і сутність флатеру лопатей НГ. Поняття про коефіцієнт корисної дії НГ. Динамічна аеропружність і міцність лопатей НГ. Моменти опору НГ і його залежність від режимів польоту. Необхідна потужність СУ і її розподіл на вертольоті. Фізична сутність небезпечних режимів навантаження лопатей НГ. Фізична сутність особливих режимів обтікання НГ: земний резонанс і “вихрове кільце”.

## **Тема № 9. Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і**

## **розріджених газів.**

Поняття про гіперзвукову течію. Аеродинамічні характеристики тіл при гіперзвуковому обтіканні. Особливості виникнення стрибків ущільнення при гіперзвукових швидкостях. Аеродинамічні характеристики профілів при гіперзвукових швидкостях. Поняття про аеродинамічне нагрівання конструкцій ПС і способи зниження нагрівання. Особливості аеродинаміки розріджених газів. Підйомна сила і сила лобового опору в молекулярному потоці розрідженого газу. Особливості розрахунку аеродинамічних сил і моментів при гіперзвуковому обтіканні і при обтіканні розрідженим газом.

### **3 Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна література:**

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016.–402 с.: іл.
- 3 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за заг. редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
- 4 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
- 5 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
- 6 Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. - 333 с.: іл.
- 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

#### **Допоміжна література:**

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.

- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник. - М.: Транспорт, 1976. – 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливій ситуації. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гiдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972.– 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокopter, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати винтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.

- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.

### **Інформаційні ресурси**

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1>

### **Технічні засоби**

- 1 Багатофункціональний плазменний телевізор.
- 2 Персональний комп'ютер.
- 3 Мультимедійний проектор.

### **Наочні посібники**

- 1 Опорний конспект лекцій по дисципліні «Принципи польотів (Аерогідрогазодинаміка)».
- 2 Електронний конспект лекцій по дисципліні.
- 3 Презентація окремих тем дисципліни.
- 4 Схеми та таблиці по темам дисципліни.
- 5 Зразки інформаційної та службової документації.
- 6 Навчальні фільми за тематикою дисципліни «Принципи польотів (Аерогідрогазодинаміка)».
- 7 Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Принципи польотів (Аерогідрогазодинаміка)».
- 8 Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”.

## **4 Засоби оцінювання здобувачів вищої освіти**

### **Завдання для підсумкового контролю (іспиту):**

#### **Тема 1**

- 1 Поняття про літальні апарати, принципи виникнення піднімальної сили і польоту ЛА.
- 2 Характеристика фізичної властивості речовини – в'язкість: динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості, градієнт швидкості, фізичного параметру – температура середовища і поняття числа Рейнольдса.

3 Характеристика фізичної властивості речовини - стисливість і фізичних параметрів – число Мах і швидкість звуку.

4 Характеристика фізичних параметрів – тиск в середовищі і ковзна напруга.

5 Сутність гіпотези суцільності середовища, характеристика середовища за числом Кнудсена.

6 Принципи зворотності руху і моделювання потоку в аерогідрогазодинаміці.

## Тема 2

1 Рівняння стану газового середовища і взаємозалежність фізичних параметрів.

2 Рівняння збереження енергії рухомого повітряного потоку.

3 Рівняння нерозривності рухомого потоку (рівняння Л. Ейлера).

4 Рівняння балансу енергії рухомого повітряного потоку (рівняння Д. Бернуллі).

5 Використання рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі для аналізу фізичної сутності виникнення підйомної сили і сили опору.

## Тема 3

1 Рівняння Д. Бернуллі для газового потоку з урахуванням стисливості, його визначення і фізична сутність.

2 Критичний переріз, його сутність і визначення критичних параметрів потоку.

3 Рівняння Л. Ейлера з урахуванням стисливості, його фізична сутність.

4 Сопло Лавалю, залежність параметрів газового потоку від швидкості по довжині сопла Лавалю.

## Тема 4

1 Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу: визначення, сутність і розрахункова формула.

2 Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки, її фізична сутність і характерні ділянки.

3 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихору, колова швидкість, циркуляція швидкості.

4 Формула Біо-Савара, її сутність і застосування для нескінченних і напівнескінченних прямолінійних вихорів.

## Тема 5

1 Сутність примежового шару, його характеристика і зміна основних параметрів по товщині шару.

2 Умови зміни структури примежового шару, режимів течії в ньому і сутність критичного числа Рейнольдса.

3 Фізична сутність і динаміка відриву потоку в примежовому шарі.

4 Розкрити фізичну сутність парадоксу Ейлера - Д'аламбера.

5 Сутність явища "вязка криза", залежність коефіцієнта опору від числа Рейнольдса.

6 Взаємодія примежового шару і стрибків ущільнення, сутність хвильового відриву потоку.

### Тема 6

1 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в рухомому середовищі при русі з швидкостями менше і більше швидкості звуку.

2 Виникнення і фізична сутність характеристик розширення потоку.

3 Фізична сутність виникнення стрибків ущільнення, їх види і форми.

4 Зміна нормальної складової швидкості потоку на стрибку ущільнення.

5 Фізична картина і особливості обтікання затуплених і ступінчатих кінцевих тіл.

6 Фізична сутність виникнення і розповсюдження звукового удару.

### Тема - 7

1 Сутність кута установки несучої поверхні, охарактеризувати поняття: геометрична, аеродинамічна і кінцева скрутки несучих поверхонь.

2 Розкрити поняття: аеродинамічний центр тиску, парабола стійкості і аеродинамічний фокус.

3 Сутність виникнення результуючої (повної) аеродинамічної сили і вплив на її розмір і просторове положення геометричних, кінематичних і фізичних параметрів.

4 Сутність виникнення і просторового положення повного аеродинамічного моменту, його проекції на вісі систем координат, їх назва і правило знаків

5 Профільний опір, його фізична сутність, складові частини, вплив геометричних і кінематичних параметрів на його розмір і характер зміни.

6 Опір тертя, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила.

7 Опір тиску, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила.

8 Сутність індуктивного опору, вплив на його розмір кінематичних і геометричних параметрів профілю крила.

9 Фізична сутність хвильового опору, вплив стисливості середовища, його залежність від числа Маха.

10 Характеристика залежності коефіцієнта лобового опору від кута атаки в швидкісній і зв'язаній системах координат.

11 Охарактеризувати залежність коефіцієнтів піднімальної сили і сили лобового опору від числа Маха, визначити характерні дільниці на графіках.

12 Характеристика полярної діаграми I роду, особливості її побудови і практичного використання, характерні дільниці на графіку залежності  $C_{xa} = f(\alpha)$ .

13 Сутність полярної діаграми II роду, особливості її побудови, характеристика дільниць на графіку.

#### Тема - 8

1 Призначення, види, класифікація і основні конструктивні елементи НГ.

2 Особливості обтікання НГ на режимах висіння і вертикальних переміщень.

3 Особливості обтікання НГ на режимах горизонтального польоту.

4 Фізична сутність режимів роботи НГ при зміні вертикальних швидкостей зниження вертольоту.

5 Характеристика сил і моментів, що діють на лопаті НГ вертольоту.

6 Характеристика махових рухів лопаті в площині тяги НГ і зміна основних кінематичних параметрів по азимутам.

7 Фізична сутність флаттеру лопатей і конструктивні заходи щодо його усунення.

8 Фізична сутність “земного резонансу” і конструктивні заходи його усунення.

#### Тема - 9

1 Особливості обтікання твердих тіл гіперзвуковим газовим потоком.

2 Особливості визначення аеродинамічних характеристик профіля крила при гіперзвукових швидкостях потоку.

3 Поняття про аеродинамічне нагрівання конструкцій ПС і засоби зниження нагрівання.

4 Особливості розрахунку підйомної сили и сили лобового опору в молекулярному потоці розрідженого газу.