

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

**Циклова комісія аеронавігації**

**РОБОЧА ПРОГРАМА**

навчальної дисципліни  
**ПРИНЦИПИ ПОЛЬОТУ**  
**(Аерогідрогазодинаміка)**  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
**Аеронавігація**  
272 Авіаційний транспорт

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу Харківського  
національного університету внутрішніх  
справ. Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії *аеронавігації*, *протокол від 28.08.2023*  
*№ 1*

**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 Головний науковий співробітник ТОВ «Науково-виробниче об'єднання» «АВІА», к.т.н., с.н.с., Зінченко В. П.

2 Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач-методист циклової комісії енергозабезпечення та систем управління, к. т. н., професор, спеціаліст вищої категорії, Гаврилюк Ю. М.

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Шифри та назви галузі знань, код та назва напряму підготовки, спеціальності, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів ECTS – 4,0 Загальна кількість годин - 120 Змістовних розділів - 3 Кількість тем - 9	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <u>27</u> (шифр галузі)             </div> <div> <u>Транспорт;</u> (назва галузі знань)             </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <u>272</u> (назва спеціальності)             </div> <div> <u>Авіаційний транспорт;</u> (назва спеціальності)             </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <u>бакалавр</u> (назва сво)             </div> </div>	Навчальний курс <u>2</u> (номер) Семестр <u>3</u> (номер) Види контролю: екзамен; курсова робота (екзамен, залік)
<b>Розподіл навчальної дисципліни за видами занять:</b>		
<b>Денна форма навчання</b>		<b>Заочна форма навчання</b>
Лекції - <u>60</u> (години)		Лекції - <u>12</u> (години)
Семінарські заняття - <u>-</u> (години)		Семінарські заняття - <u>-</u> (години)
Практичні заняття - <u>20</u> (години)		Практичні заняття - <u>6</u> (години)
Лабораторні заняття - <u>-</u> (години)		Лабораторні заняття - <u>-</u> (години)
Самостійна робота - <u>40</u> (години)		Самостійна робота - <u>82</u> (години)
Індивідуальні завдання:		Індивідуальні завдання:
Курсова робота <u>1</u> . <u>3</u> - (кількість, № семестру)		Курсова робота <u>1</u> . <u>4</u> (кількість, № семестру)
Реферати <u>2</u> . <u>3</u> (кількість, № семестру)		Реферати - <u>1</u> . <u>4</u> (кількість, № семестру)

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни «Принципи польоту (Аерогідродинаміка)», 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 і предметом** дисципліни є літальні апарати, які здійснюють політ за одним з принципів польоту: аеростатичним, аеродинамічним чи балістичним за використанням теоретичних основ гідроаеромеханіки 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).

**Завданням** дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)» є оволодіння методами визначення:

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

**Міждисциплінарні зв'язки:** дисципліна відноситься до обов'язкової компоненти ОПП циклу професійної підготовки і вивчається після вивчення дисциплін: “Вища математика”, “Фізика”, “Інформаційні технології”, “Вступ в 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.

**Очікувані результати навчання:** у результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач освіти повинен:

**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 компонування 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 аерогідрогазодинаміки 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.

**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>Загальні компетентності, спеціальні (фахові) компетентності</b>	<b>ФК-12</b>	Знати технічні вимоги до повітряних суден і авіадвигунів, експлуатацію повітряних суден та авіаційних двигунів, експлуатацію авіаційного і радіоелектронного обладнання, принципи польоту

### 3. Програма навчальної дисципліни

**ТЕМА № 1.** «Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів».

Аеродинаміка, як наука і її складові частини. Основні поняття і визначення аерогідрогазодинаміки, її складові частини. Вклад російських і українських вчених у розвиток аерогідрогазодинаміки, 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 гідролотки.

## **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 вихори. 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 слабких 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 підсмоктувальну 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 площинах 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 обтіканню. 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.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

##### 4.1.1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (денна форма навчання)

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	всього	з них:					
		лекції	семінарські заняття	практичні заняття	лабораторні заняття	самостійна робота	
Семестр № 5							
Тема № 1. Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів	10	6	-	-	-	4	
Тема № 2. Основи кінематики і динаміки рідин і газів	12	6	-	2	-	4	ПЗ-2.1 ПКЕЗ № 1 за темами 1 і 2 на 30 хв
Тема № 3. Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла Лавалля	6	4	-	-	-	2	
Тема № 4. Закономірності вихрового руху газового потоку. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила	10	6	-	2	-	2	ПЗ-4.1 ПКЕЗ № 2 за темами 3 і 4 на 30 хв.
Тема № 5. Основи теорії примежового шару	8	6	-	-	-	2	

Тема № 6. Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі	16	4	-	4	-	8	ПЗ-6.1 ПКЕЗ № 3 за темами 5 і 6 на 30 хв ПЗ-6.2 ПКР № 1 за темами 1 – 6 Захист ІКЗ № 1 за темами 1 – 6
Тема № 7. Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь ЛА	24	14	-	4	-	6	ПЗ-7.1 ПКЕЗ № 4 за лекціями 7.1 і 7.2 30 хв ПЗ-7.2 ПКЕЗ № 5 за лекціями 7.3 - 7.5 30 хв
Тема № 8. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту	20	10	-	4	-	6	ПЗ-8.1 ПКЕЗ № 6 за лекціями 8.1 - 8.3 30 хв ПЗ-8.2, усний виступ за лекціями 8.4 і 8.5.
Тема № 9. Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів	14	4	-	4	-	6	ПЗ-9.1 ПКР № 2 за темами 7 – 9 ПЗ-9.2 Захист ІКЗ № 2 за темами 7 – 9 Захист КР
<b>Всього:</b>	<b>120</b>	<b>60</b>	<b>-</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>Екзамен +КР</b>

#### 4.1.2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (заочна форма навчання поки що не використовується)

#### 4.1.3. Питання, що виносяться на самостійне опрацювання

Перелік питань до тем навчальної дисципліни		Література:
Тема № 1 Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів		1.1 14-19; 1.2. 5-27; 1.4. 5-25; 1.8. 3-23.
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Аеродинаміка як наука, її складові частини, основні напрями її розвитку</li> <li>2 Поняття про літальні апарати, принципи виникнення піднімальної сили і польоту ЛА</li> <li>3 Атмосфера землі, її будова, основні фізичні параметри, що характеризують її властивості і використовуються в аеродинаміці</li> <li>4 Гідроаеродинаміка, як комплексна наука, розвиток і характеристика розділів динаміки рідини і газів, як самостійних наукових напрямів</li> <li>5 Динаміка польоту як наука, її призначення і задачі які можна розв'язувати з її допомогою</li> <li>6 Гідроаеромеханіка як наука, її складові частини, характеристика складових частин</li> <li>7 Характеристика фізичної властивості речовини: інертність і плинність, фізичних параметрів: масова густина і питома вага</li> <li>8 Характеристика фізичної властивості речовини: в'язкість: динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості, градієнт швидкості, фізичного параметру: температура середовища</li> <li>9 Характеристика фізичної властивості речовини: стисливість і фізичних параметрів: число Мах і швидкість звуку</li> <li>10 Характеристика фізичної властивості речовини: питома теплоємність і вологість, фізичного параметру - тиск в середовищі</li> <li>11 Характеристика фізичних параметрів: тиск в середовищі і ковзна напруга</li> <li>12 Характеристика фізичної властивості середовища: вологість: абсолютна і відносна.</li> </ol>	

		<p>Поняття числа Рейнольдса</p> <p>13 Характеристика фізичної властивості речовини: стисливість і інертність, градієнт швидкості, фізичних параметрів: температура і масова густина середовища</p> <p>14 Сутність гіпотези суцільності середовища, характеристика середовища за числом Кнудсена</p> <p>15 Принципи зворотності і моделювання потоку в аерогідродинаміці</p> <p>16 Призначення, види і конструктивні типи аеродинамічних труб</p>	
		Тема № 2 Основи кінематики рідини і газу.	1.1. 15-30; 1.2. 35- 48; 77-86; 1.3. 14-28; 1.4.15-22; 1.8. 23-41
		<p>1 Рівняння стану газового середовища і взаємозалежність фізичних параметрів</p> <p>2 Рівняння збереження і балансу енергії потоку</p> <p>3 Рівняння нерозривності рухомого потоку</p> <p>4 Рівняння Д. Бернуллі для рухомого потоку</p> <p>5 Теоретичні моделі моделювання течії навколо твердих тіл</p> <p>6 Повітряний потік, поняття усталеного і не усталеного потоку, спектр течії навколо тіл</p> <p>7 Охарактеризувати плавний поступальний рух потоку: трубка току, лінія току, траєкторія</p> <p>8 Використання рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі для аналізу фізичної сутності виникнення підйомної сили і сили опору</p> <p>9 Фізична картина течії газу навколо твердих тіл, характеристика спектру обтікання і зон течії</p> <p>10 Розкрити поняття стаціонарний й не стаціонарний потік, основні відмінності</p> <p>11 Дати визначення понять: лінія току, траєкторія, вихрова лінія, вихровий шнур</p> <p>12 Практичне використання теоретичних моделей моделювання течії навколо твердих тіл в аеродинаміці</p>	
		Тема № 3 Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла	1.1. 30-35; 1.2. 132-139; 1.3. 71-79; 1.4. 108-132; 1.8. 41-44.

		<p>Лавалля</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Рівняння Д. Бернуллі для газового потоку з урахуванням стисливості, його фізична сутність.</li> <li>2 Залежність температури загальмованого газового потоку від швидкості руху, сутність кінетичного нагрівання поверхні обтікаємого тіла.</li> <li>3 Гранична швидкість газового потоку і її залежність від температури середовища.</li> <li>4 Залежність тиску і масової густини газового потоку від числа Маха.</li> <li>5 Критичний переріз, його сутність і визначення критичних параметрів потоку.</li> <li>6 Рівняння Л. Ейлера з урахуванням стисливості, його фізична сутність.</li> <li>7 Критична швидкість стисливого газового потоку, основні закономірності потоку при розгоні його від дозвукової до надзвукової швидкості.</li> <li>8 Сопло Лавалля, залежність параметрів газового потоку від швидкості по довжині сопла Лавалля</li> <li>9 Залежність фізичних параметрів потоку від швидкості його руху</li> <li>10 Фізична сутність критичних параметрів газового потоку</li> <li>11 Вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів потоку</li> </ol>	
		<p>Тема № 4 Закономірності вихрового руху газового потоку. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила.</p>	<p>1.1. 16-19; 71-75; 1.2. 50-77; 1.3. 28-31; 45-48; 1.4. 61-73; 1.8. 56-58</p>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу: визначення, сутність і розрахункова формула</li> <li>2 Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки, її фізична сутність і характерні ділянки.</li> <li>3 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихору, колова швидкість, циркуляція швидкості.</li> <li>4 Теорема Гельмгольца і її сутність, визначення напруги вихору.</li> <li>5 Теорема Стокса і її сутність, визначення колової швидкості.</li> </ol>	

		<p>6 Теорема Томпсона і її сутність, поняття про циркуляцію швидкості.</p> <p>7 Визначення колової швидкості для нескінченного і напівнескінченного вихору.</p> <p>8 Сутність газодинамічних особливостей, характеристика витоку і стоку.</p> <p>9 Газодинамічна особливість диполь, його сутність і параметри, їх розрахунок.</p> <p>10 Моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика.</p> <p>11 Формула Біо-Савара, її застосування для нескінченних і напівнескінченних вихорів.</p> <p>12 Фізична сутність потенціального і не потенціального руху, характеристика газодинамічних особливостей.</p>	
		Тема № 5 Основи теорії примежового шару	1.1. 45-55; 1.2. 75-180; 1.4. 22-30; 1.8. 58-62
		<p>1 Сутність примежового шару, його характеристика і зміна параметрів по товщині шару</p> <p>2 Структура примежового шару, якісна характеристика зміни основних параметрів для кожного виду шару</p> <p>3 Умови зміни структури примежового шару, сутність критичного числа Рейнольдса</p> <p>4 Розкрити фізичну сутність виникнення сили тертя в примежовому шарі</p> <p>5 Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі</p> <p>6 Розкрити фізичну сутність парадоксу Ейлера-Даламбера</p> <p>7 Сутність виникнення сили опору при обтіканні циліндра в'язкою рідиною чи газом</p> <p>8 Сутність явища "в'язка криза", залежність коефіцієнту опору від числа Рейнольдса</p> <p>9 Сутність і способи управління примежовим шаром</p> <p>10 Взаємодія примежового шару і стрибків</p>	

		згущення, сутність хвильового зриву потоку	
		Тема № 6 Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі	1.1. 30-45; 1.2. 141-175; 1.3. 79-97; 1.4-123...133; 144-146; 1.8. 41-58
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в нерухомому середовищі і при русі з швидкістю рівною швидкості звуку</li> <li>2 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в рухомому середовищі при русі з швидкостями менше і більше швидкості звуку</li> <li>3 Виникнення і фізична сутність характеристик розширення потоку</li> <li>4 Фізична сутність виникнення стрибків ущільнення, їх види і форми</li> <li>5 Рівняння збереження маси на стрибку ущільнення</li> <li>6 Рівняння зміни кількості руху на стрибку ущільнення</li> <li>7 Зміна нормальної складової швидкості потоку на стрибку ущільнення</li> <li>8 Зміна щільності газового потоку на стрибку ущільнення</li> <li>9 Зміна тиску і температури газового потоку на стрибку ущільнення</li> <li>10 Принцип визначення числа Маха і швидкості при дозвукових і понадзвукових швидкостях польоту</li> <li>11 Фізична картина і особливості обтікання затуплених і ступінчатих конічних тіл</li> <li>12 Фізична сутність виникнення і розповсюдження звукового удару</li> </ol>	
		Тема № 7 Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь	1.1. 61-103; 1.2. 197-315; 1.3. 34-100; 1.4. 48-144; 1.5. 82-86; 1.8. 67-86
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Призначення і сутність несучих поверхонь ЛА, характеристика геометричних параметрів крила: подовження, звуження, кут стріловидності, кут поперечної “V-подібності”, кут установки перерізу крила</li> <li>2 Охарактеризувати поняття скрутки несучих</li> </ol>	

		поверхонь: геометричної, аеродинамічної і конічної	
3		Охарактеризувати основні геометричні параметри профілю несучих поверхонь: хорда, товщина, кривизна, середня лінія профілю, відносні координати максимальної товщини і кривизни профілю	
4		Дати характеристику формам несучих поверхонь в плані і видам профілів перерізів крила	
5		Дати визначення середньої аеродинамічної хорди крила і її сутності, охарактеризувати геометричний метод визначення місця розташування і розміру САХ	
6		Охарактеризувати основні системи координат, які використовуються в Аерогідрогазодинаміці, дати визначення кута атаки і кута ковзання	
7		Побудувати схеми векторних діаграм розподілу тиску по поверхням профілю і епюри розподілу коефіцієнтів тиску по хорді профілю для різних значень кута атаки	
8		Розкрити поняття: аеродинамічний центр тиску, аеродинамічний фокус і парабола стійкості	
9		Сутність виникнення результуючої (повної) аеродинамічної сили і вплив на її розмір і просторове положення геометричних, кінематичних і фізичних параметрів	
10		Проекції результуючої аеродинамічної сили на вісі швидкісної і зв'язаної систем координат, охарактеризувати назву її складових	
11		Алгоритм перерахунку проекцій повної аеродинамічної сили з швидкісної на зв'язану систему координат і навпаки	
12		Сутність виникнення повного аеродинамічного моменту, його проекції на вісі систем координат, їх назва і правило знаків.	
13		Поняття про лобовий опір, його сутність, причини виникнення і складові частини.	
14		Профільний опір, його фізична сутність, складові частини, вплив геометричних і кінематичних	



	<p>параметрів на його розмір і характер зміни</p> <p>15 Опір тертя, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила</p> <p>16 Опір тиску, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила</p> <p>17 Сутність індуктивного опору, вплив на його розмір кінематичних і геометричних параметрів профілю крила</p> <p>18 Сутність відсмоктувальної сили профілю, графічна залежність <math>C_x = f(\alpha)</math></p> <p>19 Фізична сутність хвильового опору, вплив стисливості середовища, його залежність від числа Маха</p> <p>20 Характеристика залежності коефіцієнта лобового опору від кута атаки в швидкісній і зв'язаній системах координат</p> <p>21 Сутність впливу стисливості середовища на аеродинамічні характеристики профілю крила</p> <p>22 Охарактеризувати залежність коефіцієнта піднімальної сили від числа Маха, визначити характерні ділянки на графіку</p> <p>23 Охарактеризувати залежність коефіцієнта сили лобового опору від числа Маха, визначити характерні ділянки на графіку</p> <p>24 Сутність аеродинамічної якості профілю крила, її залежність від кута атаки, характерні ділянки на графіку залежності <math>K = f(\alpha)</math></p> <p>25 Характеристика полярної діаграми I роду, особливості її побудови і практичного використання, характерні ділянки на графіку залежності <math>C_{x_a} = f(C_{y_a})</math></p> <p>26 Характеристика впливу стисливості повітря на аеродинамічну якість і полярну I роду: <math>C_{x_a} = f(C_{y_a}, M)</math>, <math>C_{x_a} = f(M)</math></p> <p>27 Фізична сутність відсмоктувальної сили і її практичне використання</p> <p>28 Сутність полярної діаграми II роду, особливості</p>	
--	---	--

		<p>її побудови, характеристика ділянок на графіку</p> <p>29 Характеристика аеродинамічного моменту тангажу і його графічна залежність <math>m_z = f(a)</math></p> <p>30 Шляхи і способи підвищення несучих властивостей крила</p> <p>31 Характеристика елементів механізації крила: щитків і закрилків, їх вплив на протікання залежностей аеродинамічних характеристик від кута атаки</p> <p>32 Характеристика елементів механізації крила: передкрилків і відхиляємих носків та носових щитків</p> <p>33 Характеристика елементів механізації крила: гальмівних щитків, інтерцепторів і елеронів</p> <p>34 Характеристика елементів механізації крила: аеродинамічних перегородок, запилів та турбулізаторів</p>	
		<p>Тема № 8 Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту. 1.5. 97-113; 1.7. 29-39; 1.8 108-116; 2.5. 99-125; 2.6. 5-42</p>	
		<p>1 Призначення, види, класифікація і основні конструктивні елементи НГ.</p> <p>2 Геометричні параметри і характеристики НГ.</p> <p>3 Кінематичні параметри НГ.</p> <p>4 Геометричні параметри лопатей НГ.</p> <p>5 Кінематичні параметри лопатей НГ.</p> <p>6 Особливості обтікання НГ на режимах висіння і вертикальних переміщень.</p> <p>7 Особливості обтікання НГ на режимах горизонтального польоту.</p> <p>8 Сутність імпульсної теорії визначення тяги НГ.</p> <p>9 Визначення індуктивних швидкостей НГ на режимах висіння.</p> <p>10 Визначення реальної тяги НГ з урахуванням вимушених витрат.</p> <p>11 Визначення індуктивних швидкостей НГ і тяги на режимах вертикального переміщення.</p> <p>12 Фізична сутність режимів роботи НГ при зміні вертикальних швидкостей зниження</p>	

		<p>вертольоту.</p> <p>13 Визначення тяги та індуктивної швидкості на режимах косого обтікання НГ.</p> <p>14 Сутність загальної вихрової теорії розрахунку тяги НГ.</p> <p>15 Сутність лопатної і дискової теорії розрахунку тяги НГ.</p> <p>16 Момент опору НГ і його складові частини на режимах вертикального обтікання.</p> <p>17 Момент опору НГ і його складові частини на режимах косого обтікання.</p> <p>18 Коефіцієнт корисної дії ідеального гвинта і його відмінність від реального.</p> <p>19 Відносний коефіцієнт корисної дії НГ і його залежність від аеродинамічних коефіцієнтів.</p> <p>20 Поняття про необхідну потужність НГ і види витрат.</p> <p>21 Характеристика сил і моментів на елемент лопаті.</p> <p>22 Поняття про махові рухи лопаті НГ.</p> <p>23 Характеристика основних закономірностей махових рухів лопатей.</p> <p>24 Особливості руху лопатей у площині обертання НГ.</p> <p>25 Характеристика основних закономірностей коливання лопатей в площині обертання НГ.</p> <p>26 Поняття про пружність лопатей.</p> <p>27 Причини виникнення флатеру лопатей НГ.</p> <p>28 Поняття про динамічну міцність лопатей НГ.</p>	
		<p>Тема № 9 Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів.</p> <p>1.2. 372-385; 1.4. 154-208; 2.2. 150-154</p> <p>1 Загальні поняття про гіперзвукову течію і її характеристика</p> <p>2 Визначення аеродинамічних характеристик тіл і профілів крила в гіперзвуковому потоці</p> <p>3 Особливості утворення стрибків ущільнення у гіперзвуковому потоці</p> <p>4 Аеродинамічне нагрівання поверхонь ЛА і</p>	

				способи зниження кінетичного нагрівання	
			5	Особливості аеродинаміки розріджених газів	
			6	Фізична сутність утворення аеродинамічних сил в молекулярному потоці розрідженого газу	

## 5. Індивідуальні завдання

### 5.1 Теми рефератів (індивідуальних контрольних завдань)

За темами №№ 1-6 згідно лекцій

#### Варіант № 1

- 1 Аеродинаміка як наука, її складові частини, основні напрями її розвитку
- 2 Характеристика фізичної властивості речовини - інертність і плинність , фізичних параметрів – масова густина і питома вага
- 3 Рівняння стану газового середовища
- 4 Охарактеризувати плавний поступальний рух газового потоку: трубка току, лінія току, траєкторія
- 5 Рівняння Д. Бернуллі для газового потоку з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 6 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихору, колова швидкість, циркуляція швидкості.
- 7 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в нерухомому середовищі і при русі з швидкістю рівною швидкості звуку
- 8 Сутність і способи керування примежовим шаром

#### Варіант № 2

- 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 повітря
- 3 Рівняння збереження енергії газового потоку
- 4 Охарактеризувати вихровий газовий потік: вихрова трубка, вихрова лінія, вихровий шнур
- 5 Залежність температури загальмованого газового потоку від швидкості руху, сутність кінетичного нагрівання поверхні обтікаємого тіла
- 6 Теорема Гельмгольца і її сутність

- 7 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в рухомому середовищі при русі з швидкостями менше і більше швидкості звуку
- 8 Взаємодія примежового шару і стрибків ущільнення, сутність хвильового зриву потоку

### **Варіант № 3**

- 1 Сутність гіпотези суцільності середовища, характеристика середовища за числом Кнудсена
- 2 Характеристика фізичної властивості речовини - стисливість і фізичних параметрів – число Мах і швидкість звуку
- 3 Рівняння нерозривності газового потоку
- 4 Фізична картина течії газу навколо твердих тіл, характеристика зон течії
- 5 Гранична швидкість газового потоку і її залежність від температури середовища.
- 6 Теорема Стокса і її сутність
- 7 Виникнення і фізична сутність характеристик розширення потоку
- 8 Сутність примежового шару, його характеристика і зміна параметрів по товщині шару

### **Варіант № 4**

- 1 Атмосфера землі, її будова, основні фізичні параметри, що характеризують її властивості і використовуються в аеродинаміці
- 2 Характеристика фізичної властивості речовини – питома теплоємність і вологість, фізичного параметру – тиск в середовищі
- 3 Рівняння Д. Бернуллі для рухомого газового потоку
- 4 Охарактеризувати усталений і не усталений газовий потік
- 5 Залежність тиску і масової густини газового потоку від числа Маха
- 6 Теорема Томпсона і її сутність
- 7 Фізична сутність виникнення стрибків ущільнення, їх види і форми
- 8 Структура примежового шару, якісна характеристика зміни основних параметрів для ламінарної і турбулентної течії в примежовому шарі

### **Варіант № 5**

- 1 Гідроаеродинаміка, як комплексна наука, розвиток і характеристика розділів динаміки рідини і газів, як самостійних напрямів в науці
- 2 Характеристика фізичних параметрів – тиск в середовищі і ковзна напруга
- 3 Моделі течії газового потоку навколо твердих тіл

- 4 Охарактеризувати поняття: лінія току, траєкторія, вихрова лінія, вихровий шнур
- 5 Критичний переріз, його сутність і визначення критичних параметрів потоку
- 6 Визначення колової швидкості для нескінченного і напівнескінченного вихору
- 7 Рівняння збереження маси на стрибку ущільнення
- 8 Умови зміни структури примежового шару, сутність критичного числа Рейнольдса

### **Варіант № 6**

- 1 Динаміка польоту як наука, її призначення і задачі які можна розв'язати з її допомогою
- 2 Характеристика фізичної властивості середовища – вологість: абсолютна і відносна. Поняття числа Рейнольдса
- 3 Принципи зворотності і моделювання в аеродинаміці
- 4 Практичне застосування рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі
- 5 Рівняння Л. Ейлера з урахуванням стисливості, його фізична сутність
- 6 Сутність газодинамічних особливостей, характеристика витoku і стоку
- 7 Рівняння зміни кількості руху на стрибку ущільнення
- 8 Розкрити фізичну сутність виникнення сили тертя в примежовому шарі

### **Варіант № 7**

- 1 Гідроаеромеханіка як наука, її складові частини, характеристика складових частин
- 2 Характеристика фізичної властивості речовини – в'язкість: динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості, градієнт швидкості, фізичного параметру температура повітря
- 3 Повітряний потік, поняття усталеного і не усталеного потоку, спектр течії навколо тіл
- 4 Рівняння стану газового потоку.
- 5 Критична швидкість стисливого газового потоку, основні закономірності потоку при розгоні його від дозвукової до надзвукової швидкості
- 6 Газодинамічна особливість диполь, його сутність і параметри, їх розрахунок
- 7 Зміна нормальної складової швидкості потоку на стрибку ущільнення
- 8 Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі

### Варіант № 8

- 1 Рівняння нерозривності газового потоку
- 2 Охарактеризувати вихровий газовий потік: вихрова трубка, вихрова лінія, вихровий шнур
- 3 Поняття про літальні апарати, принципи виникнення піднімальної сили і польоту ЛА
- 4 Характеристика фізичних параметрів – тиск в середовищі і ковзна напруга
- 5 Сопло Лавалю, залежність параметрів газового потоку від швидкості і довжини сопла Лавалю
- 6 Моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика
- 7 Зміна щільності газового потоку на стрибку ущільнення
- 8 Розкрити фізичну сутність парадоксу Ейлера - Даламбера

### Варіант № 9

- 1 Сутність гіпотези суцільності середовища, характеристика середовища за числом Кнудсена
- 2 Характеристика фізичної властивості речовини – питома теплоємність і вологість, фізичного параметру – тиск в середовищі
- 3 Повітряний потік, поняття усталеного і не усталеного потоку, спектр течії навколо тіл
- 4 Рівняння стану газового потоку.
- 5 Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу: визначення, сутність і розрахункова формула.
- 6 Поняття критичного перерізу, критичної швидкості, критичних параметрів газового потоку
- 7 Зміна тиску і температури газового потоку на стрибку ущільнення
- 8 Сутність виникнення сили опору при обтіканні циліндра в'язкою рідиною чи газом.

### Варіант № 10

- 1 Атмосфера землі, її будова, основні фізичні параметри, що характеризують її властивості і використовуються в аеродинаміці
- 2 Характеристика фізичної властивості середовища – вологість: абсолютна і відносна. Поняття числа Рейнольдса
- 3 Моделі течії газового потоку навколо твердих тіл
- 4 Практичне застосування рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі

- 5 Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки, її фізична сутність і характерні дільниці
- 6 Формула Біо-Савара, її застосування для нескінченних і напів-нескінченних вихорів
- 7 Фізична картина і особливості обтікання затуплених і ступінчатих конічних тіл
- 8 Сутність явища "в'язка криза", залежність коефіцієнту опору від числа Рейнольдса

### **За темами №№ 7 - 9 згідно лекцій**

#### **Варіант № 1**

- 1 Призначення і форми несучих поверхонь в плані, основні їх геометричні і кінематичні параметри
- 2 Характеристика залежності коефіцієнта піднімальної сили від числа Маха
- 3 Сутність поляри II-го роду, її залежність від геометричних і кінематичних параметрів
- 4 Сутність імпульсної теорії визначення тяги несучого гвинта вертольоту
- 5 Поняття про гіперзвукову течію газового потоку

#### **Варіант № 2**

- 1 Сутність установчого кута перерізу крила, характеристика аеродинамічної, геометричної та конічної скруток крила
- 2 Характеристика залежності коефіцієнта сили лобового опору від числа Маха
- 3 Сутність механізації крила, її види і вплив на залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки
- 4 Сутність лопатної і дискової вихрової теорії розрахунку тяги несучого гвинта
- 5 Аеродинамічні характеристики тіл при гіперзвуковому обтіканні

#### **Варіант № 3**

- 1 Характеристика залежності коефіцієнта підйомної сили від кута атаки і вплив на її протікання кривизни і товщини профілю крила
- 2 Сутність поляри I-го роду, залежність коефіцієнта аеродинамічної якості від швидкості і подовження крила
- 3 Сутність індуктивного опору, вплив на його розмір кінематичних і геометричних параметрів профілю і форми крила в плані



- 4 Визначення індуктивних швидкостей і моменту опору НГ на режимах висіння і вертикального обтікання
- 5 Особливості виникнення стрибків ущільнення при гіперзвукових швидкостях

#### **Варіант № 4**

- 1 Розподіл тиску по профілю крила і епюри його розподілу по хорді при зміні кута атаки
- 2 Вплив подовження крила і числа Рейнольдса на характер протікання залежності коефіцієнта підйомної сили від кута атаки
- 3 Вплив стисливості середовища на поляру і аеродинамічну якість профіля крила
- 4 Момент опору НГ на режимах косого обтікання, коефіцієнт корисної дії ідеального гвинта
- 5 Аеродинамічні характеристики профілів при гіперзвукових швидкостях.

#### **Варіант № 5**

- 1 Сутність результуючої аеродинамічної сили, фактори що впливають на її розмір і положення в просторі
- 2 Поняття аеродинамічного центру тиску і аеродинамічного фокусу
- 3 Сутність поляри II-го роду, її залежність від геометричних і кінематичних параметрів
- 4 Фізична сутність режимів роботи НГ при різних значеннях вертикальних швидкостей зниження вертольоту
- 5 Поняття про аеродинамічне нагрівання конструкцій ПС при гіперзвукових швидкостях і способи зниження нагрівання

#### **Варіант № 6**

- 1 Системи координат, що використовуються в аерогідрогазодинаміці
- 2 Сила лобового опору, сутність профільного опору
- 3 Сутність механізації крила, її види і вплив на залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки
- 4 Визначення реальної тяги НГ з урахуванням вимушених витрат, відносний коефіцієнт корисної дії НГ і його залежність від аеродинамічних коефіцієнтів
- 5 Особливості аеродинаміки розріджених газів

### **Варіант № 7**

- 1 Складові повної аеродинамічної сили в проекціях її на вісі швидкісної та зв'язаної систем координат
- 2 Опір тертя, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила
- 3 Сутність полярів II-го роду, її залежність від геометричних і кінематичних параметрів
- 4 Особливості обтікання НГ на режимах горизонтального польоту, поняття про необхідну потужність НГ і види витрат потужності
- 5 Підйомна сила і сила лобового опору в молекулярному потоці розрідженого газу

### **Варіант № 8**

- 1 Сутність повного аеродинамічного моменту і його проекцій на вісі зв'язаної системи координат
- 2 Сутність індуктивного опору, вплив на його розмір кінематичних і геометричних параметрів профілю і форми крила в плані
- 3 Вплив стисливості середовища на полярну і аеродинамічну якість профілю крила
- 4 Сутність загальної вихрової теорії моделювання і розрахунку тяги НГ
- 5 Особливості виникнення аеродинамічних сил при гіперзвуковому обтіканні і обтіканні розрідженим газом

### **Варіант № 9**

- 1 Сутність коефіцієнтів аеродинамічних сил і моментів, перерахунок коефіцієнтів із швидкісної системи координат в зв'язану і навпаки
- 2 Сутність хвильового опору, залежність його від числа Маха
- 3 Сутність полярів I-го роду, залежність коефіцієнта аеродинамічної якості від швидкості і подовження крила
- 4 Визначення індуктивних швидкостей і тяги НГ на режимах висіння і вертикальних переміщень
- 5 Особливості розрахунку аеродинамічних сил і моментів при гіперзвуковому обтіканні і обтіканні розрідженим газом

### **Варіант № 10**

- 1 Сутність середньої аеродинамічної хорди крила і геометричного методу визначення її розміру і розташування по розмаху крила

- 2 Характеристика залежності коефіцієнта лобового опору від кута атаки в швидкісній і зв'язаній системах координат, сутність відсмоктувальної сили
- 3 Характеристика залежності коефіцієнта сили лобового опору від числа Маха
- 4 Поняття про необхідну і розрахункову потужності силової установки для обертання НГ, коефіцієнт корисної дії ідеального гвинта
- 5 Поняття про аеродинамічне нагрівання конструкцій ПС при гіперзвукових швидкостях і способи зниження нагрівання

### **5.1.2 Теми курсових робіт**

Теми курсових робіт здобувачів освіти за назвою однакові «Розрахунок та побудова графічних залежностей і аналіз основних аеродинамічних характеристик профілю несучих поверхонь ЛА», але для кожного здобувача освіти видаються різні вихідні дані для побудови несучої поверхні ЛА і цифрові дані для розрахунку параметрів польоту та графіки аеродинамічних характеристик різних аеродинамічних профілів за результатами продувок в аеродинамічній трубі згідно відповідних варіантів.

Вибір варіанту, зміст і порядок виконання курсової роботи здійснюється згідно з методичними вказівками щодо виконання курсової роботи.

Індивідуальних тем не передбачено, варіанти кожної курсової роботи видаються згідно останньої цифри залікової книжки здобувача освіти.

## **6 Методи навчання**

При викладанні дисципліни використовуються наступні методи навчання:

- 1 Мотивація навчально-пізнавальної діяльності, формування професійного інтересу до дисципліни і майбутньої спеціальності
- 2 Заохочення за досягнення конкретних результатів, акцентування уваги на значущості досягнутих результатів, установлення взаємодії витрачених здобувачем освіти зусиль і результатів досягнень
- 3 Метод опори на життєвий досвід здобувачів освіти (факти, явища, які вони спостерігали у житті, довкіллі) як основи при вивченні нового матеріалу
- 4 «Навмисна помилка» або «Допоможи мені» - звернення за допомогою до здобувачів освіти, пробудження почуття гідності (знайшов помилку викладача), стимулювання бажання вчитися
- 5 Візуалізація навчання за допомогою технічних засобів і наочних посібників

- 6 Прищеплювання методичних і практичних навичок при розв'язуванні практичних задач
- 7 Самостійна робота здобувачів освіти як навчання через активне мислення та розвиток здібностей
- 8 Виховання у здобувачів освіти розуміння беззаперечного застосування державних стандартів при виконанні курсової роботи
- 9 Формування інформаційно-технологічних знань за допомогою мультимедійних інструментальних систем

## **7 Перелік питань та завдань, що виносяться на підсумковий контроль**

### **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 дільниці.
- 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 - Даламбера.
- 5 Сутність явища "в'язка 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 конічна 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 ділянки на графіках.
- 12 Характеристика полярної діаграми I роду, особливості її побудови і практичного використання, характерні ділянки на графіку залежності  $C_{xa} = f(\alpha)$ .
- 13 Сутність полярної діаграми II роду, особливості її побудови, характеристика ділянок 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 флатеру 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 профілю 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.

### **8. Критерії та засоби оцінювання результатів навчання здобувачів**

Контрольні заходи включають у себе поточний та підсумковий контроль.

**Поточний контроль.** До форм поточного контролю належить оцінювання:

- рівня знань під час практичних занять;
- якості виконання індивідуальних завдань та самостійної роботи.

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має за мету перевірку засвоєння знань, умінь і навичок здобувачів освіти з навчальної дисципліни проведенням письмових контрольних експрес завдань.

У ході поточного контролю проводиться систематичний вимір приросту знань, їх корекція. Результати поточного контролю заносяться викладачем до журналів обліку роботи академічної групи за національної системою оцінювання («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») і за бальною системою оцінювання.

Оцінки за самостійну та індивідуальну роботи виставляються в журнали обліку роботи академічної групи окремою графою за національною системою оцінювання («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») і за бальною системою оцінювання. Результати цієї роботи враховуються під час виставлення підсумкових оцінок.

При розрахунку успішності здобувачів враховуються такі види робіт:

навчальні заняття; самостійна та індивідуальна роботи (виконання домашніх завдань, виконання розрахункових завдань, підготовка рефератів, наукових робіт, публікацій, виступи на наукових конференціях, семінарах та інше); контрольні роботи (виконання тестів, контрольних робіт у вигляді, передбаченому в робочій програмі навчальної дисципліни). Вони оцінюються за національною системою оцінювання («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») і за бальною системою оцінювання.

Результат навчальних занять за семестр розраховується як середньоарифметичне значення з усіх виставлених оцінок під час навчальних занять протягом семестру та виставляється викладачем в журналі обліку роботи академічної групи окремою графою.

Результат самостійної роботи за семестр розраховується як середньоарифметичне значення з усіх виставлених оцінок з самостійної роботи, отриманих протягом семестру та виставляється викладачем в журналі обліку роботи академічної групи окремою графою.

**Здобувач освіти, який отримав оцінку «незадовільно» за навчальні заняття або самостійну роботу, зобов'язаний перескласти її.**

Загальна кількість балів (оцінка), отримана здобувачем за семестр перед підсумковим контролем, розраховується як середньоарифметичне значення з оцінок за навчальні заняття та самостійну роботу, та для переводу до 100-бальної системи оцінювання помножується на коефіцієнт 10.

$$\begin{array}{l} \text{Загальна кількість} \\ \text{балів (перед} \\ \text{підсумковим} \\ \text{контролем)} \end{array} = \left( \left( \begin{array}{l} \text{Результат} \\ \text{навчальних занять} \\ \text{за семестр} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Результат} \\ \text{самостійної} \\ \text{роботи за семестр} \end{array} \right) / 2 \right) * 10$$

**Підсумковий контроль.** Підсумковий контроль проводиться з метою оцінки результатів навчання на певному ступені вищої освіти або на окремих його завершених етапах.

Для обліку результатів підсумкового контролю використовується поточно-накопичувальна інформація, яка реєструється в журналах обліку роботи академічної групи. Результати підсумкового контролю з дисциплін відображуються у відомостях обліку успішності, навчальних картках здобувачів освіти і залікових книжках. **Присутність здобувачів освіти при проведенні підсумкового контролю обов'язкова.** Якщо здобувач освіти не з'явився на підсумковий контроль, то викладач ставить у відомість обліку успішності відмітку «не з'явився».

**Підсумковий контроль (екзамен)** оцінюється за національною шкалою. Для переводу результатів, набраних на підсумковому контролі, з національної системи оцінювання в 100-бальну вводиться коефіцієнт 10, таким чином



максимальна кількість балів на підсумковому контролі, які використовуються при розрахунку успішності студентів, становить – 50.

Підсумкові бали з навчальної дисципліни визначаються як сума балів, отриманих здобувачем освіти протягом семестру та балів, набраних на підсумковому контролі.

$$\text{Підсумкові бали навчальної дисципліни} = \text{Загальна кількість балів (перед підсумковим контролем)} + \text{Кількість балів за підсумковим контролем}$$

Здобувач вищої освіти, який під час складання підсумкового контролю отримав незадовільну оцінку, складає його повторно. Повторне складання підсумкового контролю допускається не більше двох разів з кожної навчальної дисципліни: один раз - викладачеві, а другий - комісії, до складу якої входить завідувач відповідного відділення та 2-3 науково-педагогічних працівників.

Незадовільні оцінки виставляються тільки в відомостях обліку успішності. Здобувачам вищої освіти, які отримали не більше як дві незадовільні оцінки (*нижче ніж 60 балів*) з навчальної дисципліни, можуть бути встановлені різні строки ліквідації академічної заборгованості, але не пізніше як за день до фактичного початку навчальних занять у наступному семестрі. Здобувачі освіти, які не ліквідували академічну заборгованість у встановлений термін, відраховуються з Коледжу. Особи, які одержали більше двох незадовільних оцінок (*нижче ніж 60 балів*) за підсумковими результатами вивчення навчальних дисциплін з урахуванням підсумкового контролю, відраховуються з Коледжу.

Вимоги до здобувачів освіти щодо засвоєння змісту навчальної дисципліни:

Робота під час навчальних занять	Самостійна та індивідуальна робота	Підсумковий контроль
Отримати не менше 4 – х позитивних оцінок на практичних заняттях при виконанні ПКЕЗ та ПКР за відповідними темами	Виконати ІКЗ за відповідними варіантами за кожним розділом	Отримати за підсумковий контроль не менше 60 балів

## 9. Шкала оцінювання: національна та ECTS

Оцінка в балах		Оцінка за національною шкалою	Оцінка	
			оцінка	Пояснення
12	97–100	Відмінно (“зараховано”)	A	„Відмінно” – теоретичний зміст курсу освоєний цілком, потрібні практичні навички роботи з

11	94–96			освоєним матеріалом сформовані, <b>усі</b> навчальні завдання, які передбачені програмою навчання, <b>виконані</b> в повному обсязі, відмінна робота без помилок або з однією незначною помилкою.
10	90–93			
9	85–89	Добре ("зараховано")	В	„Дуже добре” – теоретичний зміст курсу засвоєний <b>цілком</b> , необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом <b>в основному</b> сформовані, <b>усі</b> навчальні завдання, які передбачені програмою навчання, <b>виконані</b> , якість виконання <b>більшості</b> з них оцінено числом балів, близьким до <b>максимального</b> , робота з двома-трьома незначними помилками.
8	80–84			
7	75 – 79			
6	70–74	Задовільно ("зараховано")	С	„Добре” – теоретичний зміст курсу засвоєний <b>цілком</b> , практичні навички роботи з освоєним матеріалом <b>в основному</b> сформовані, <b>усі</b> навчальні завдання, які передбачені програмою навчання, <b>виконані</b> , якість виконання <b>жодного</b> з них <b>не оцінена мінімальним</b> числом балів, деякі види завдань виконані <b>з помилками</b> , робота з декількома незначними помилками або з однією–двома значними помилками.
5	65–69			
4	60 – 64			
3	40–59	Незадовільно („не зараховано”)	D	„Задовільно” – теоретичний зміст курсу освоєний <b>неповністю</b> , але <b>прогалини не несуть істотного</b> характеру, необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом <b>в основному</b> сформовані, <b>більшість</b> передбачених програмою навчання навчальних завдань <b>виконано</b> , <b>деякі</b> з виконаних завдань містять <b>помилки</b> , робота з трьома значними помилками.
2	21–40			
			E	„Достатньо” – теоретичний зміст курсу освоєний <b>частково</b> , <b>деякі</b> практичні навички роботи <b>не сформовані</b> , <b>частина</b> передбачених програмою навчання навчальних завдань <b>не виконана</b> або якість виконання деяких з них оцінена числом балів, близьким до <b>мінімального</b> , робота, що задовольняє мінімуму критеріїв оцінки.
			FX	„Умовно незадовільно” – теоретичний зміст курсу засвоєний <b>частково</b> , потрібні практичні навички роботи <b>не сформовані</b> , <b>більшість</b> передбачених програм навчання, навчальних завдань <b>не виконана</b> , або якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до <b>мінімального</b> ; при додатковій <b>самостійній</b> роботі над матеріалом курсу <b>можливе підвищення якості</b> виконання навчальних завдань

			(з можливістю повторного складання), робота, що потребує доробки
1	1–20	F	„Безумовно незадовільно” – теоретичний зміст курсу не освоєно, необхідні практичні навички роботи не сформовані, всі виконані навчальні завдання містять грубі помилки, додаткова самостійна робота над матеріалом курсу не приведе до значимого підвищення якості виконання навчальних завдань, робота, що потребує повної переробки

## 10. Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

### Основна:

- 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 загальною 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.
- 8 Тягній В. Г., Ємець В. В., Основи аеродинаміки та динаміки польоту, частина I, Аерогідрогазодинаміка. Навчальний посібник, КЛК ХНУВС, 2022. – 384 с.

### **Допоміжна:**

1. Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.

### **Інформаційні ресурси**

#### Інформаційні ресурси в Інтернеті

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

#### Технічні засоби

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

#### Наочні посібники

- 1 Опорний конспект лекцій.
- 2 Електронний конспект лекцій.
- 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 польоту (Аерогідрогазодинаміка)».
- 7 Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)».
- 8 Курс лекцій по дисципліні «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)»
- 9 Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”.