

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

Циклова комісія аеронавігації

МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ

до практичних занять
із навчальної дисципліни

«Основи аеродинаміки та динаміки польоту»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден

та авіадвигунів

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. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами
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 № 6							
Тема №1. Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів	5	2	-	-	-	3	
Тема № 2. Основи кінематики і динаміки рідин і газів	8	2	-	-	2	4	ПЗ-2.1, виконання і захист ЛР-2.1
Тема № 3. Фізична сутність газодинамічних особливостей. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила. Фізична сутність тертя в примежовому шарі	5	2	-	-	-	3	
Тема № 4. Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь ЛА	14	4	-	2	-	8	ПЗ-4.1 ПКЕЗ № 1 за темами 1...4
Тема № 5. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту	8	2	-	2	-	4	ПЗ-5.2 ПКР № 1 за темами 2...5;
Тема № 6. Рівновага, стійкість і керованість літальних апаратів	6	2	-	-	2	4	ПЗ-6.1 виконання і захист ЛР-6.1

Тема № 7. Усталений рух літальних апаратів	6	2	-	-	-	4	ПЗ-7.1, виконання і захист ЛР-7.1
Тема № 8. Неусталений рух літальних апаратів	10	2	-	2	2	4	ПЗ-8.1 ПКР № 2 за темами 6...8;
Всього за семестр № 5:	60	18	-	6	6	30	Екзамени + КР

**1.2 Розподіл часу навчальної дисципліни за темами
(заочна 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 № 6							
Тема № 1. Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів	4	-	-	-	-	4	
Тема № 2. Основи кінематики і динаміки рідин і газів	8	1	-	1	-	6	ПКЕЗ № 1 за темами 1 і 2
Тема № 3. Фізична сутність газодинамічних особливостей. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила. Фізична сутність тертя в примежовому шарі.	8	1	-	-	-	7	
Тема № 4. Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь ПС	12	-	-	-	-	12	ПКЕЗ № 2 за темою 4
Тема № 5. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта	4	1	-	1	-	2	

вертольоту							
Тема № 6. Рівновага, стійкість і керуваність літальних апаратів	8	1	-	-	1	6	ЛР-6.1
Тема № 7. Усталений рух літальних апаратів	6	-	-	1	-	5	ЛР-7.1
Тема № 8. Неусталений рух літальних апаратів	10	-	-	-		10	ПЗ-8.1
Всього:	60	4	-	2	-	54	Екзам.+ КР

2. Методичні вказівки до практичних занять

Практичне заняття - це вид навчального заняття, на якому організовується детальний розгляд здобувачами освіти окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формується вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання здобувачами освіти роботи відповідно до сформульованих завдань.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 (ПЗ-2.1, виконання ЛР № 1)

ТЕМА № 1: Основні поняття і співвідношення аерогідродинаміки.

Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів.

ТЕМА № 2: Основи кінематики і динаміки рідин і газів

Тематичні питання практичного заняття № 1:

- 1 Фізичні властивості і параметри рідини і газу, їх вплив на розмір аеродинамічних сил.
- 2 Ознайомлення з устаткуванням аеродинамічних лабораторій, їх призначенням і принципом дії.
- 3 Основні поняття і параметри прямолінійної рівномірної течії і вихрового руху рідини і газу.
- 4 Основні рівняння рухомого потоку рідин і газів і їх практичне використання в аерогідродинаміці.

Навчальна мета заняття:

- 1 Закріплення теоретичних знань впливу фізичних властивостей і параметрів рідин і газів на протікання фізичних процесів та на розмір аерогідродинамічних сил. Оволодіння методикою їх розрахунку.
- 2 Характеристика устаткування аеродинамічних лабораторій, методів і методик проведення експериментальних досліджень і їх використання в практичній діяльності.

3 Закріплення теоретичних знань про потік рідини і газу, прямолінійну рівномірну течію і обертальний рух частинок рідини і газу.

4 Розгляд теоретичних моделей обтікання твердих тіл потоком рідини і газу.

5 Практичне використання в аерогідрогазодинаміці основних рівнянь рухомого потоку рідини і газу.

6 Виконання лабораторної роботи № 1 (ПЗ-2.1)

Кількість годин – 2 год.

Навчальні питання:

- 1 Принципи польоту ЛА, види і типи ПС.
- 2 Будова атмосфери Землі, її основні фізичні параметри.
- 3 Гіпотеза суцільності середовища, характеристика числа Кнудсена.
- 4 Принципи зворотності руху і моделювання течії в аерогідрогазодинаміці.
- 5 Поняття про крапельну і газоподібну рідину, ідеальну і реальну рідину.
- 6 Характеристика в'язкості рідини, розкрити поняття: ковзна напруга, градієнт швидкості, коефіцієнти динамічної і кінематичної в'язкості.
- 7 Характеристика стисливості і модулю пружності рідини та питомої теплоємності газу.
- 8 Характеристика фізичних параметрів рідини: тиск і швидкість звуку в середовищі.
- 9 Рівняння стану газового середовища і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 10 Рівняння збереження енергії потоку рідини і газу, його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 11 Рівняння нерозривності потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 12 Рівняння Д. Бернуллі для рухомого потоку рідини і галузі його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 13 Теоретичні моделі моделювання течії потоку рідини і газу навколо твердих тіл.
- 14 Охарактеризувати прямолінійний рівномірний рух потоку рідини і газу, дати визначення термінам: трубка току, лінія току, траєкторія.
- 15 Охарактеризувати вихровий потік рідини і газу, дати визначення термінам: вихрова трубка, вихрова лінія, вихровий шнур.

План проведення заняття:

- 1 Проведення усного опитування за темами 1 і 2.
- 2 Показ навчальних фільмів:
 - 2.1 “Кінематика рідини і газу. Фрагмент 1. Способи спостереження течії рідини і газу” та Фрагмент 2. «Безвихрова течія”.
 - 2.2 “Аеродинамічна база ДНДІ НАУ”;
 - 2.3 “Молекулярна будова матерії, рідин і газів”.
- 3 Розв’язок типових задач.
- 4 Доведення варіантів домашнього індивідуального контрольного завдання № 1.
- 5 Виконання лабораторної роботи № 1 (ЛР - 2.1.

Рекомендована література

- 1.1 - 4...19; 1.2 - 5...48; 77...86; 1.3 - 7...27; 1.4 - 5...25;
1.2 1.8 - 3...41; 3.1; 3.2.

Порядок проведення заняття

Теоретична частина заняття

По темі № 1

Аеродинаміка - це розділ, в якому вивчаються закони руху повітря і сил, що виникають на поверхні тіл, відносно яких здійснюється його рух.

Аеродинаміка умовно поділяється на **теоретичну**, яка вивчає закономірності руху повітря і його дію на тіла, **експериментальну**, яка досліджує рух і взаємодію його з тілами, що обтікаються повітрям на моделях в аеродинамічних трубах і **прикладну**, що дозволяє об’єднувати теоретичні розробки і експериментальні дослідження для використання їх в практичній інженерній діяльності.

Однією із найважливіших задач аеродинаміки є отримання і вивчення аеродинамічних характеристик, які кількісно показують взаємодію літального апарату з повітряним середовищем.

Сучасна аеродинаміка розвивається за двома напрямками:

- **перший-це** дослідження розподілу нормального тиску і ковзної напруги по поверхні літального апарату, а також визначає результуючі аеродинамічні сили і моменти;
- **другий- це** вивчення проблем аеротермодинаміки і аеродинамічного нагрівання, яке виникає при обтіканні тіл газом, що рухаються з надзвуковими швидкостями.

При вивченні основних законів аерогідрогазодинаміки

приймається припущення про суцільність повітряного середовища. Згідно цьому припущенню газу в аеродинаміці розглядаються як суцільне середовище з безперервним розподілом тиску в просторі.

При вивченні фізичної сутності обтікання різних тіл потоком повітря, а також силової взаємодії з потоком використовується принцип оборотності руху. Згідно цього принципу рух тіла з заданою швидкістю в нерухомому середовищі рівнозначно руху середовища з тією ж швидкістю відносно нерухомого тіла.

В теорії аеродинаміки розглядаються три основних принципи польоту: *аеростатичний, аеродинамічний і балістичний*.

До літальних апаратів, які важчі повітря і використовують аеродинамічний принцип польоту відносяться: планери, літаки, гвинтокрилі апарати і космічні апарати.

Атмосфера Землі-це повітряна оболочка навколо земного шару, нижньою межею якої є поверхня Землі, а верхньою-висота **2-3 тис. км.**, де густина повітря у $16 \cdot 10^{17}$ раз менше чим на поверхні Землі. Стан і фізичні властивості повітря характеризуються фізичними параметрами: тиском, густиною, температурою і швидкістю звуку.

До фізичних властивостей газів, які впливають на виникнення і розмір аеродинамічних сил відносяться: *інертність, в'язкість, стисливість, плинність, питома теплоємність*.

Більшість фізичних властивостей газів, які визначають їх стан характеризуються фізичними параметрами: *температурою, тиском, густиною, вологістю, швидкістю звуку*.

По темі № 2

Основним завданням кінематики рідини і газу є визначення швидкостей і напрямку руху частинок рідини і газу. Сукупність швидкостей частинок середовища створює поле швидкостей. Рух рідини чи газу можна вважати визначеним, якщо відомо вектор швидкості в кожній точці середовища, а саме коли відоме поле швидкостей. Швидкості руху частинок рідини і газу можна виразити як функцію часу і координат, в яких знаходяться частинки в даний момент часу.

У випадку ***неусталеного руху*** потоку рідини (газу) прискорення частинок визначається як зміну швидкості у часі, так і зміна швидкості в залежності від положення частинки у просторі.

У випадку ***усталеного руху*** потоку прискорення частинок визначається як зміна положення їх у просторі, без врахування змін у часі.

Лінія, по якій одна і та ж частинка рухається у просторі за деякий термін часу, називається **траєкторією руху** частинки. **Лінією току** називається така лінія у потоці, дотична в кожній точці якої співпадає з вектором миттєвої швидкості частинки у цій же точці. Лінії току дають наочну уяву про фізичну картину течії потоку навколо твердого тіла і про миттєву картину розподілу швидкостей у різних точках простору.

Якщо в усталеному потоці виділити деякий замкнутий контур і через кожну точку цього контуру провести лінію току, то отримаємо поверхню, що обмежує відповідний об'єм рідини (газу), цей об'єм називається **трубкою току**. Рідина (газ), що рухається в середині трубки називається **струменем**. Кожний, віртуально виділений в потоці струмінь, можна розглядати ізольовано від загального потоку рідини (газу), так як маса речовини не змінюється. Це дозволяє застосовувати до струменю основні закони збереження: закон збереження маси і закон збереження енергії.

Рух реальної рідини (газу) в загальному виді являє собою складний вихровий рух, коли частинки рідини і газу беруть участь у прямолінійному рівномірному і обертальному рухах і деформуються при цьому. Основною характеристикою вихрового руху є кутова швидкість деформованої частинки рідини (газу).

Якщо відомо поле прямолінійного рівномірного руху рідини (газу), то можна визначити поле кутових швидкостей цього руху.

Вихровою лінією називається така лінія в потоці рідини (газу), в кожній точці якої в даний момент часу вектор кутовою швидкості є дотичним до неї. Частина рухомої рідини (газу), обмеженої вихровими лініями, проведеними через усі точки якого-небудь нескінченно малого замкнутого контуру, що знаходиться в області зайнятою рідиною (газом), називається **вихровою трубкою**. Вихрова трубка, поза якою рух невихровий, називається **вихровим шнуром**. Вихровий шнур нескінченно малого перерізу, але кінцевої інтенсивності називається **вихровою ниткою**.

При усталеному русі секундна витрата є величиною постійною для усіх перерізів даного струменю і називається **рівнянням постійної витрати**.

Рівняння Д. Бернуллі являє собою вираз закону збереження енергії, що застосовується до струменю рухомої рідини (газу). **Рівняння Д. Бернуллі для нестисливого середовища**: сума статичного тиску і швидкісного напору в будь-якому перерізі одного і

того ж струменю є величиною постійною. Рівняння Д. Бернуллі є основним рівнянням аерогідрогазодинаміки, встановлює зв'язок між тиском, швидкістю і густиною у різних перерізах струменю усталеної течії рідини (газу). Рівняння використовується при обґрунтуванні фізичної сутності виникнення підйомної сили на несучих поверхнях. На рівнянні Д. Бернуллі побудовано принцип виміру швидкості польоту ЛА з допомогою приймача повітряного тиску.

Перелік питань до розгляду

По темі № 1

- 1 Аеродинаміка як наука, її складові частини, основні напрями її розвитку.
- 2 Поняття про ЛА, принципи виникнення підйомної сили і польоту ПС.
- 3 Сутність гіпотези суцільності середовища, характеристика середовища за числом Кнудсена.
- 4 Атмосфера землі, її будова, основні фізичні параметри, що характеризують її властивості і використовуються в аерогідрогазодинаміці.
- 5 Гідроаеродинаміка, як комплексна наука, розвиток і характеристика розділів динаміки рідини і газів, як самостійних наукових напрямів.
- 6 Динаміка польоту як наука, її призначення і задачі, які можна розв'язувати з її допомогою.
- 7 Характеристика фізичної властивості речовини: інертність і плинність, фізичних параметрів: масова густина, питома вага і питомий об'єм.
- 8 Характеристика фізичної властивості речовини: в'язкість, динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості, градієнт швидкості, фізичного параметру: температура середовища.
- 9 Характеристика фізичної властивості речовини: стисливість, модуль пружності і фізичних параметрів: число Маха і швидкість звуку.
- 10 Характеристика фізичної властивості речовини: питома теплоємність і вологість, фізичного параметру: тиск в середовищі.
- 11 Характеристика фізичних параметрів: тиск в середовищі, ковзна напружка і закону внутрішнього тертя.
- 12 Характеристика фізичної властивості середовища: вологість, абсолютна і відносна. Поняття числа Рейнольдса.

- 13 Характеристика фізичної властивості речовини: стисливість і інертність, градієнт швидкості.

По темі № 2

- 1 Рівняння стану газового середовища і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 2 Рівняння збереження енергії потоку рідини і газу, його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 3 Рівняння нерозривності потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 4 Рівняння Д. Бернуллі для рухомого потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 5 Теоретичні моделі моделювання течії потоку рідини і газу навколо твердих тіл.
- 6 Охарактеризувати прямолінійний рівномірний рух потоку рідини і газу, дати визначення термінам: трубка току, лінія току, траєкторія.
- 7 Охарактеризувати вихровий потік рідини і газу, дати визначення термінам: вихрова трубка, вихрова лінія, вихровий шнур.
- 8 Визначення потоку, розкрити поняття усталеного і не усталеного потоку, спектру течії навколо тіл.
- 9 Фізична картина течії рідини і газу навколо твердих тіл, характеристика зон течії.
- 10 Застосування рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі для пояснення фізичної сутності виникнення підйомної сили в аерогідрогазодинаміці.
- 11 Практичне застосування рівнянь Клайперона-Менделєєва і збереження енергії газового потоку в аерогідрогазодинаміці.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

по дисципліні «ОСНОВИ АЕРОДИНАМІКИ та ДИНАМІКИ ПОЛЬОТІВ»

«Дослідження основних законів руху газу і фізичної картини течії навколо складових частин літального апарату при дозвукових швидкостях»

1.1 Мета заняття:

- 1) Ознайомити здобувачів освіти з обладнанням аеродинамічної лабораторії і аеродинамічної труби

- 2) Демонстрація картини течії навколо тіл при дозвукових швидкостях і виявлення фізичної сутності виникнення аеродинамічних сил
- 3) Засвоїти методи виміру швидкості руху газу різними засобами і визначення швидкості польоту ЛА

1.2 Зміст заняття:

- 1) Демонстрація струйної течії (*ліній току*) навколо профілю крила з використанням димогенератора.

Необхідне обладнання:

- *димогенератор;*
- *вузол для закріплення профілю крила і механізм управління профілем.*

- 2) Демонстрація картини розподілу нормального тиску в каналі аеродинамічної труби.

Необхідне обладнання:

- *канал з рухомою верхньою стінкою;*
- *батареїний манометр з скляними трубками.*

- 3) Демонстрація використання рівняння Д. Бернуллі

Необхідне обладнання:

- *пластикові кульки від настільного тенісу;*
- *пилосос з циліндричною насадкою і гнучкими патрубками.*

- 4) Демонстрація картини течії навколо частини крила в аеродинамічній трубі

4.1 Визначення швидкості повітряного потоку з допомогою приймача повітряного тиску

Необхідне обладнання:

- *вертолітний приймач повітряного тиску;*
- *прилад показник швидкості УС- 450;*
- *мікроманометр ММН-1.*

4.2 Визначення швидкості повітряного потоку по перепаду тиску

Необхідне обладнання:

- *мікроманометр ММН-1.*

4.3 Визначення швидкості повітряного потоку по двох перерізах аеродинамічної труби

Необхідне обладнання:

- *мікроманометр ММН-1.*

Виконати розрахунок приладової і повітряної швидкості за спрощеними формулами

Параметри розрахунку	1	2	3	4	5	6	7	8
H, м	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$\rho_n, \text{кг/м}^3$								
$p_{н.ст.}, \text{Па}$								
$p^*, \text{Па}$	101200	101000	100800	100600	100400	100200	100000	900800
$V_{пр}, \text{м/с}$								
$V_{пов}, \text{м/с}$								

Формули спрощеного розрахунку основних параметрів повітря в тропосфері:

$$p_n = p_0 * \frac{16,8-H}{16,8+H}; \quad \rho_n = \rho_0 * \frac{20-H}{20+H}; \quad a_n = a_0 - 4 * H; \quad a = 20,1 * \sqrt{T}$$

де:

H- висота в **км**; **T** - температура повітря в градусах **K**;

t_0 ; p_0 ; ρ_0 ; a_0 - стандартні значення: температури, тиску, масової щільності і швидкості звуку повітря на рівні світового океану:

$$t^0 = 288^0 \text{ K}; \quad p^0 = 101320 \text{ Па}; \quad \rho_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3; \quad a_0 = 340,14 \text{ м/с}^2.$$

$$p_n = p_{ст} + \frac{\rho V^2}{2}; \quad V_{np} = \sqrt{\frac{2(p_n - p_{ст})}{\rho}}; \quad V_n = V_{np} \sqrt{\frac{1}{\Delta}}, \quad \text{де } \Delta = \frac{\rho_n}{\rho_0}$$

1.3 Контрольні питання

- 1.3.1 Характеристика основних фізичних властивостей повітря.
- 1.3.2 Сутність гіпотези суцільності середовища.
- 1.3.3 Прояви в'язкістних властивостей газу і рідини.
- 1.3.4 Якими параметрами характеризується стисливість нерухомого газового середовища і потоку газу.
- 1.3.5 Який рух рідини або газу називається усталеним ? а який неусталеним ?
- 1.3.6 Що таке траєкторія, лінія току, трубка току, струминка ?
- 1.3.7 Навести рівняння нерозривності потоку і пояснити фізичну сутність його складових.
- 1.3.8 Які сили діють в потоці рідини і газу ?
- 1.3.9 Навести рівняння Д. Бернуллі і пояснити фізичну сутність складових рівняння.

- 1.3.10 Пояснити принцип виміру швидкості польоту літака з допомогою ППТ.
- 1.3.11 Що називається приборною, індикаторною і дійсною швидкістю? Як вони взаємо пов'язані між собою ?
- 1.3.12 Пояснити принцип роботи мікроманометра ММН-1.

Рекомендований перелік літератури

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 І, «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 І «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 І, 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
<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 по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
- 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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
- 7 Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
- 8 Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 (ПЗ-4.1, виконання ПКЕЗ № 1)

ТЕМА № 1: Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки.

Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів.

ТЕМА № 2: Основи кінематики і динаміки рідин і газів

ТЕМА № 3: Фізична сутність газодинамічних особливостей. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила. Фізична сутність тертя в примежовому шарі

ТЕМА № 4: Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь ЛА

Тематичні питання практичного заняття № 2:

По темі № 1

- 1 Аеродинаміка як наука, її складові частини, основні напрями її розвитку.
- 2 Поняття про ЛА, принципи виникнення підйомної сили і польоту ПС.
- 3 Сутність гіпотези суцільності середовища, характеристика середовища за числом Кнудсена.
- 4 Атмосфера землі, її будова, основні фізичні параметри, що характеризують її властивості і використовуються в аерогідрогазодинаміці.

- 5 Гідроаеродинаміка, як комплексна наука, розвиток і характеристика розділів динаміки рідини і газів, як самостійних наукових напрямів.
- 6 Динаміка польоту як наука, її призначення і задачі, які можна розв'язувати з її допомогою.
- 7 Характеристика фізичної властивості речовини: інертність і плинність, фізичних параметрів: масова густина, питома вага і питомий об'єм.
- 8 Характеристика фізичної властивості речовини: в'язкість, динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості, градієнт швидкості, фізичного параметру: температура середовища.
- 9 Характеристика фізичної властивості речовини: стисливість, модуль пружності і фізичних параметрів: число Маха і швидкість звуку.
- 10 Характеристика фізичної властивості речовини: питома теплоємність і вологість, фізичного параметру: тиск в середовищі.
- 11 Характеристика фізичних параметрів: тиск в середовищі, ковзна напруга і закону внутрішнього тертя.
- 12 Характеристика фізичної властивості середовища: вологість, абсолютна і відносна. Поняття числа Рейнольдса.
- 13 Характеристика фізичної властивості речовини: стисливість і інертність, градієнт швидкості.

По темі № 2

- 1 Рівняння стану газового середовища і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 2 Рівняння збереження енергії потоку рідини і газу, його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 3 Рівняння нерозривності потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 4 Рівняння Д. Бернуллі для рухомого потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 5 Теоретичні моделі моделювання течії потоку рідини і газу навколо твердих тіл.
- 6 Охарактеризувати прямолінійний рівномірний рух потоку рідини і газу, дати визначення термінам: трубка току, лінія току, траєкторія.
- 7 Охарактеризувати вихровий потік рідини і газу, дати визначення термінам: вихрова трубка, вихрова лінія, вихровий шнур.
- 8 Визначення потоку, розкрити поняття усталеного і не усталеного потоку, спектру течії навколо тіл.

- 9 Фізична картина течії рідини і газу навколо твердих тіл, характеристика зон течії.
- 10 Застосування рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі для пояснення фізичної сутності виникнення підйомної сили в аерогідрогазодинаміці.
- 11 Практичне застосування рівнянь Клайперона-Менделєєва і збереження енергії газового потоку в аерогідрогазодинаміці.

По темі 3:

- 1 Фізична сутність вихрового і потенційного руху. Використання газодинамічних особливостей при моделюванні течії і несучих поверхонь ЛА.
- 2 Практичне застосування теореми М. Є. Жуковського в аеродинаміці.
- 3 Фізична сутність і причини зміни примежового шару.
- 4 Сутність в'язкої кризи, відриву потоку при дозвуковій течії і хвильового відриву.
- 5 Способи керування примежовим шаром.

По темі 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 на графіку.
- 3 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруження вихора, циркуляція швидкості.
- 4 Теорема Гельмгольца і її сутність, визначення напруження вихора.
- 5 Теорема Стокса і її сутність, визначення індукційної колової швидкості.
- 6 Теорема Томпсона і її сутність, визначення циркуляції швидкості.
- 7 Сутність газодинамічних особливостей, характеристика витоку і стоку.
- 8 Газодинамічна особливість – диполь, його сутність, основні параметри і формули розрахунку.
- 9 Сутність моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика.
- 10 Формула Біо-Савара, її загальний вигляд і застосування для нескінченних і напів-нескінченних вихорів.

Перелік задач до письмового контрольного експрес-завдання № 1

По темі - 1

- 1 Визначити питомий об'єм, питому вагу, масову густину і швидкість звуку повітря на виході із сопла ТРД, якщо відомо, що тиск рівняється $1,2 \text{ кгс/см}^2$, а температура 500°C .
- 2 Визначити на скільки градусів і у скільки разів підвищилась температура газу по шкалам Цельсія і Кельвіна, якщо при стисканні газу в циліндрі температура підвищилась з температури $+30^\circ\text{C}$ до $+300^\circ\text{C}$, а також в скільки разів підвищилась при цьому швидкість звуку.
- 3 Визначити у скільки разів підвищилась швидкість звуку повітря, якщо при стисканні його в циліндрі температура підвищилась з $+20^\circ\text{C}$ до $+500^\circ\text{C}$ і швидкість руху повітря при числі Маха $M = 0,7$ та температурі 500°C .
- 4 Визначити масову густину, питому вагу і питомий об'єм, якщо вага газ рівняється 7 Г , а об'єм циліндра складає $0,9 \text{ л}$, а також масу газу.
- 5 Тиск повітря на виході із компресора ТРД рівняється 10 кгс/см^2 , температура *плюс* 400°C . Визначити питомий об'єм, масову густину, питому вагу і швидкість звуку повітря.
- 6 Визначити вагу і масу повітря, яке поступило в циліндр, якщо об'єм циліндра при русі поршня вниз рівняється 4 л , тиск і температура в кінці такту всмоктування рівняється $1,5 \text{ кгс/см}^2$ і 90°C .
- 7 У скільки разів зменшиться об'єм газу в циліндрі в процесі стискання, якщо перед стисканням тиск і температура рівнялися $1,8 \text{ кгс/см}^2$ і 35°C , а в кінці стискання тиск і температура рівнялися 16 кгс/см^2 і 600°C , а також зміну швидкості звуку при зміні температури.
- 8 Визначити вагу і масу повітря, що міститься в бортовому балоні гальмівної системи вертольоту, якщо об'єм балону рівняється 6 л , тиск рівняється 190 кгс/см^2 , а температура $+35^\circ\text{C}$.
- 9 Визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря на висоті 10000 м , якщо коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється $1,457 \cdot 10^{-5} \text{ Нс/м}^2$, а так же число Рейнольдса для швидкості $V = 360 \text{ км/год}$ і хорді профіля $b_a = 1500 \text{ мм}$.
- 10 Визначити тиск, масову густину і швидкість звуку на висоті, якщо температура на землі рівняється $+10^\circ\text{C}$, а на висоті *мінус* 40°C і число Маха при швидкості $V = 420 \text{ км/год}$.

- 11 Визначити числа Маха і Рейнольдса на висоті **10000 м**, якщо швидкість літака рівняється **900 км/год**, швидкість звуку на землі **340 км/с**, коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря на висоті рівняється **$3,55 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$** , хорда крила рівняється **$b_a = 150 \text{ см}$** .
- 12 Визначити масову густину, питому вагу і питомий об'єм при надлишковому тиску **$p_{\text{пл}} = 4900 \text{ Па}$** і температурі **$t = 200^\circ\text{C}$** , прийнявши, що атмосферний тиск **$p_a = 98100 \text{ Па}$** , газова постійна повітря **$R = 287 \text{ Дж/кг}^\circ\text{К}$** .
- 13 Рівень мазуту у вертикальному циліндричному резервуарі діаметром **$d = 300 \text{ см}$** за деякий час знизився на **$\Delta h = 5 \text{ дм}$** . Визначити масу і вагу витраченого мазуту, а також питомі об'єм і вагу, якщо масова густина при температурі навколишнього середовища **$t = 20^\circ\text{C}$** рівняється **$\rho = 960 \text{ кг/м}^3$** .
- 14 Визначити густину, питому вагу і питомий об'єм суміші, якщо до об'єму **$W_1 = 6 \text{ л}$** масла «И-12», густиною **$\rho_1 = 880 \text{ кг/м}^3$** , долили керосин **ТС-1** густиною **$\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$** і отримали суміш об'ємом **$W_{\text{см}} = 11 \text{ л}$** .
- 15 Визначити питомий об'єм **w** і питому вагу **γ** рідини, якщо масова густина її рівняється **$\rho = 901 \text{ кг/м}^3$** , а також масу **$m$** і вагу **$G$** , якщо виділений об'єм рідини рівняється **$W = 500 \text{ л}$** .
- 16 В резервуарі знаходиться **50 л** нафти, яка важить **420 Н**, визначити масову густину, питомі об'єм, вагу і масу нафти.
- 17 Об'єм мазуту знизився на **1500 л**, визначити на скільки зменшилась маса і вага мазуту, якщо масова густина рівняється **990 кг/м^3** , а також визначити питому вагу і питомий об'єм мазуту.
- 18 Визначити у скільки разів підвищилась швидкість звуку повітря, якщо при стисканні його в циліндрі двигуна температура підвищилась з **$+ 20^\circ\text{C}$** до **$+ 500^\circ\text{C}$** , а також на скільки градусів і у скільки разів підвищилась температура газу по шкалам Цельсія і Кельвіна.

По темі - 2

- 1 На якій висоті здійснюється політ літака, якщо температура повітря на поверхні землі становить **$+ 30^\circ\text{C}$** , а за бортом літака температура середовища складає **мінус 35°C** . Визначити швидкісний тиск повітряного потоку на визначеній висоті, якщо швидкість польоту літака складає **420 км/год**.
- 2 При польоті на заданій висоті показчик числа Маха показав значення **0,8**, а показчик швидкості польоту літака показав **864**

- км/год.** Визначити фактичну висоту польоту літака і швидкісний тиск на цій висоті.
- 3 Визначити розмір швидкісного тиску на висотах $H = 0$ і 4000 м, при швидкості **400 км/год**, а також числа Маха на відповідних висотах.
 - 4 Визначити, як зміниться максимальна швидкість польоту літака при зміні температури повітря від **мінус 40°C** до **$+40^{\circ}\text{C}$** , якщо число Маха рівняється **0,8**.
 - 5 Літак летить на висоті $H = 8000$ м з швидкістю $V = 720$ км/год. Яку швидкість буде показувати прилад показника швидкості, якщо шкала приладу відградує висоту $H = 0$ м. Визначити число Маха при заданих вихідних даних.
 - 6 Визначити діаметр каналу круглого перерізу течії рідини, якщо швидкість течії $V = 100$ см/с, об'ємна витрата води складає $Q_w = 200$ м³/с, а також визначити масову витрату, якщо питомий об'єм рідини рівняється $w = 1,18 \cdot 10^{-3}$ м³/кг.
 - 7 Визначити швидкісний тиск потоку, що обтікає літак в польоті з швидкістю **480 км/год** на висоті **5000 м**. і повний тиск, якщо атмосферний тиск на даній висоті складає **54052 Па**.
 - 8 Визначити, як зміняться швидкість польоту літака при зміні температури, якщо число Маха $M = 0,9$:
 - зимою, при температурі $t_1 = \text{мінус } 30^{\circ}\text{C}$;
 - влітку, при температурі $t_2 = +50^{\circ}\text{C}$.
 - 9 Літак летить з швидкістю $V = 1152$ км/год, як зміниться число Маха на висотах польоту, якщо температура повітря на цих висотах складає **$+5^{\circ}$ і $\text{мінус } 35^{\circ}\text{C}$** .
 - 10 Визначити, як зміниться розмір швидкісного тиску на елементи конструкції літака, який летить з швидкістю $V = 540$ км/год., при зміні висоти з $H_1 = 1000$ м до $H_2 = 6000$ м, а також повний тиск на висоті **6 км**, якщо атмосферний тиск рівняється **47217 Па**.
 - 11 Визначити фактичну висоту польоту літака, якщо прилад числа Маха показує значення $M = 0,7$, а показчик швидкості показує значення $V_{\text{фак}} = 792$ км/год.
 - 12 Визначити швидкість течії повітря в струмені, якщо літак летить з швидкістю $V = 540$ км/год, при зменшенні площі поперечного перерізу струменю у **2,5 рази**, а також розмір швидкісного тиску струменю на висоті **0 км**.
 - 13 Визначити, як зміняться число Маха польоту літака, який летить з швидкістю **720 км/год** при зміні температури з $t_1 = \text{мінус } 15^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = +35^{\circ}\text{C}$.

- 14 Літак летить з швидкістю $V = 1240 \text{ км/год.}$, як зміниться число Маха при зміні висот польоту з 3000 м до 11000 м .
- 15 Визначити, як зміниться розмір швидкісного тиску і повний тиск на елементи конструкції літака, який летить з швидкістю $V = 720 \text{ км/год.}$, при зміні висоти з $H_1 = 2000 \text{ м}$ до $H_2 = 4 \text{ км}$, якщо атмосферний тиск на цих висотах складає: 79499 Па і 61661 Па , відповідно.

По темі 3

- 1 Визначити як зміниться повний тиск в критичній точці носової частини фюзеляжу літака на висоті 8000 м. , якщо швидкості літака змінюється від 400 до 900 км/год.
- 2 Визначити як зміниться швидкість течії і швидкісний тиск в струменях над і під профілем, якщо на висоті польоту $H = 5000 \text{ м}$ при швидкості $V = 720 \text{ км/год.}$ площа поперечного перетину струменю перед профілем рівняється $S = 10 \text{ см}^2$, і змінюється: над профілем зменшується на 20% , а під профілем збільшується на 40% .
- 3 Визначити приладову і повітряну швидкість польоту літака, якщо статичний тиск за бортом літака на заданій висоті рівняється $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, тиск в критичній точці на фюзеляжі літака рівняється $1,108 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а масова густина рівняється $0,5 \text{ кг/м}^3$.
- 4 Визначити як зміниться висота і швидкість польоту літака, якщо температура повітря змінюється з $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$ на поверхні землі, до $\text{мінус } 45 \text{ }^\circ\text{C}$ за бортом літака, а число Маха рівняється $0,6$.
- 5 При польоті на заданій висоті показчик числа Маха показав значення $0,8$, а показчик швидкості польоту літака показав 864 км/год. Визначити фактичну висоту польоту літака і швидкісний тиск.
- 6 Визначити розмір швидкісного тиску і число Маха на висотах $H = 0$ і 4000 м , при швидкості 400 км/год.
- 7 Визначити, як зміниться максимальна швидкість польоту літака і швидкісний тиск при зміні температури повітря від $\text{мінус } 40 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+ 10 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо політ здійснюється на висоті 5000 м , а число Маха рівняється $0,8$.
- 8 Літак летить на висоті $H = 8000 \text{ м}$, яку швидкість буде показувати прилад показника швидкості і яка буде фактична повітряна швидкість, якщо повний тиск рівняється $1,15 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

- 9 Визначити як зміниться масова витрата рідини при швидкості течії $V = 125 \text{ км/год.}$ на висоті 0 м , при зміні діаметру трубопроводу від 25 см^2 до 50 см^2 .
- 10 Визначити повний і швидкісний тиск потоку, що діє на літак в польоті на висоті 5000 м. при числі Маха $0,9$.
- 11 При обтіканні крила повітряним потоком площа струменю зменшилась у 2 рази. Визначити швидкість струменю і швидкісний тиск у найвужчому перерізі, якщо швидкість польоту літака рівняється 480 км/год. на рівні земної поверхні.
- 12 Визначити, як зміниться швидкісний тиск при польоті літака на висоті 2000 м , якщо число Маха рівняється $0,75$, а температура повітря змінюється з $\text{мінус } 30^\circ \text{C}$ до $+50^\circ \text{C}$.
- 13 Визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря і число Рейнольдса на висоті 10000 м , якщо коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється $1,457 \cdot 10^{-5} \text{ Н с/м}^2$, швидкість літака рівняється 420 км/год , діаметр фюзеляжу рівняється 5 м .
- 14 Визначити число Маха і число Рейнольдса на висоті 10000 м , якщо швидкість літака рівняється 900 км/год , коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється $1,457 \cdot 10^{-5} \text{ Н с/м}^2$, хорда крила рівняється $b_a = 1,5 \text{ м}$.

По темі 4

- 1 Визначити відносну зміну масової густини нафти при її стисканні від $p_1 = 1 \cdot 10^5$ до $p_2 = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}$, якщо коефіцієнт об'ємного стискання нафти рівняється $\beta_p = 7,4 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.
- 2 Сосуд заповнено водою об'ємом 3000 л , як зміниться об'єм при збільшенні тиску на 250 кГс/см^2 і масова густина. Коефіцієнт об'ємного стискання рівняється $47,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кГс}$, первинна масова густина - 940 кг/м^3
- 3 Визначити зміну об'єму масла з підвищенням тиску в циліндрі на $\Delta p = 25 \text{ кГс/см}^2$, якщо перед цим масло містилось в масивному товстостінному циліндрі з внутрішнім діаметром $d = 30 \text{ мм}$ і довжиною $l = 40 \text{ дм}$. Модуль пружності масла $E = 1,33 \text{ ГПа}$.
- 4 Визначити зміну об'єму в резервуарі при нагріванні її від температури $t_1 = + 20^\circ \text{C}$ до $t_2 = + 40^\circ \text{C}$. Первинний об'єм води рівняється $W_0 = 100 \text{ м}^3$. Коефіцієнт об'ємного розширення в заданому інтервалі температур при тиску $p = 10^5 \text{ Па}$ рівняється $\beta_t = 0,00029 \text{ 1}^\circ \text{K}$.
- 5 Мінеральне мастило підводиться до гідродвигуна при *температурі* $+ 30^\circ \text{C}$ в кількості 10 л/с . За гідродвигуном температура масла

- рівняється $+70^{\circ}\text{C}$. Яка кількість мастила зливається з гідродвигуна, якщо його температурний коефіцієнт об'ємного розширення рівняється $6,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$.
- 6 Об'єм $W = 200 \text{ см}^3$ мінерального масла при температурі $t = +50^{\circ}\text{C}$ витікає із віскозиметра Енглера за час $\tau = 327 \text{ с}$. Водне число прибора рівняється $\tau = 51 \text{ с}$. Масова густина масла *рівняється* $\rho = 910 \text{ кг/м}^3$. Визначити умовну в'язкість масла в $^{\circ}\text{ВУ}$, коефіцієнт кінематичної в'язкості ν і коефіцієнт динамічної в'язкості μ .
 - 7 Рівень мазуту у вертикальному циліндричному резервуарі діаметром $d = 300 \text{ см}$ за деякий час знизився на $\Delta h = 5 \text{ дм}$. Визначити масу і вагу витраченого мазуту, а також питомі об'єм і вагу, якщо масова густина при температурі навколишнього середовища $t = 20^{\circ}\text{C}$ рівняється $\rho = 960 \text{ кг/м}^3$.
 - 8 Визначити густину, питому вагу і питомий об'єм суміші, якщо до об'єму $W_1 = 6 \text{ л}$ масла «И-12», густиною $\rho_1 = 880 \text{ кг/м}^3$, долили керосин *ТС-1* густиною $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$ і отримали суміш об'ємом $W_{\text{см}} = 11 \text{ л}$.
 - 9 В резервуарі знаходиться 50 л нафти, яка важить 420 Н , визначити масову густину, питомі об'єм і вагу нафти, а також масу нафти.
 - 10 Об'єм мазуту знизився на 1500 л , визначити на скільки зменшилась маса і вага мазуту, якщо масова густина рівняється 990 кг/м^3 , а також питому вагу і питомий об'єм.
 - 11 Визначити тиск в критичній точці носової частини фюзеляжа літака, який летить з швидкістю 1008 км/год на висоті 1000 м .
 - 12 Визначити температуру загальмованого повітряного потоку для чисел Маха $M = 3 \text{ і } 6$, якщо температура повітря в потоці складає $+30^{\circ}\text{C}$.
 - 13 Визначити критичні параметри набігаючого повітряного потоку: температуру, тиск і масову густину, якщо параметри незбуреного потоку складають: температура $+35^{\circ}\text{C}$, тиск 25 кГс/см^2 , масова густина $2,5 \text{ кг/м}^3$, розрахунок виконати за спрощеними формулами.
 - 14 Визначити граничну швидкість збуреного повітряного потоку, якщо температура усталеного потоку рівняється $+30^{\circ}\text{C}$, а температура невимушеного потоку складає *мінус* 56°C .

Мета заняття:

- 1 Закріплення теоретичних знань щодо сутності вихрового руху і його використання в теоремі М. Є. Жуковського.

- 2 Закріплення теоретичних знань про фізичну сутність і причини зміни примежового шару.
- 3 Розкриття сутності кризових явищ в примежовому шарі: відрив потоку, в'язка криза і хвильовий відрив.

Порядок проведення заняття

Теоретична частина заняття

Фізична сутність вихрового і потенційного руху. Використання газодинамічних особливостей при моделюванні течії і несучих поверхонь.

Порядок проведення заняття

Теоретична частина заняття

Примежовий шар – це тонкий шар рідини (*газу*), що прилягає до поверхні обтікаємого тіла, в якому проявляються в'язкі його властивості, за результатами яких швидкості частинок змінюються від нуля на поверхні тіла до швидкості зовнішнього незагальмованого потоку.

Висота по нормалі від поверхні тіла, до висоти, де швидкість рівняється швидкості невимушеного потоку, називається ***товщиною примежового шару***.

Ламінарним примежовим шаром називається шар в якому спостерігається слоїста течія частинок по траєкторіям, форма яких близька до форми обтікаємого тіла.

Турбулентним примежовим шаром називається шар в якому відбувається енергійне перемішування частинок в поперечному напрямку, обертання навколо центру частинок і поступальний рух в напрямку основного потоку, при цьому інтенсивність перенесення кількості руху збільшується.

Критичним числом Рейнольдса називається число, при якому відбувається перехід від ламінарної течії до турбулентної і рівняється **$Re_{кр} = 2320$** .

Вплив в'язких властивостей рідини (*газу*) заключається в тому, що у поверхні обтікаємого тіла (примежовому шарі) виникають сили, що перешкоджають його руху.

Явище відриву примежового шару, визване підвищенням тиску за стрибком ущільнення, називається ***хвильовим відривом***.

Обтікання частин літака потоком повітря супроводжується деформацією струменю і, як слідство, зміною швидкості і тиску по перерізам цього струменю. Такі зміни тиску називають збуреним тиском або малими збурюваннями, які у газообразному середовищі розповсюджуються з швидкістю звуку.

Навчальні питання

- 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 на графіку.
- 3 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихора, циркуляція швидкості, індукційна колова швидкість.
- 4 Сутність моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика.
- 5 Формула Біо-Савара, її загальний вигляд і застосування для нескінченних і напів-нескінченних вихорів.
- 6 Сутність примежового шару, його визначення і характер зміни фізичних параметрів по товщині шару.
- 7 Структура примежового шару, алгоритм розрахунку основних показників.
- 8 Умови зміни структури примежового шару, вплив умов обтікання на положення точки переходу ламінарного шару в турбулентний.
- 9 Поняття про критичне число Рейнольдса і його вплив на зміну структури примежового шару.
- 10 Фізична сутність тертя в примежовому шарі. Формули розрахунку сил тертя при ламінарній і турбулентній структурі примежового шару.
- 11 Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі при дозвуковій швидкості.
- 12 Фізична сутність парадоксу Ейлера-Даламбера і обтікання циліндричних тіл потоком реальної рідини.
- 13 Поняття про в'язку кризу при обтіканні твердих тіл потоком.
- 14 Фізична сутність хвильового відриву в примежовому шарі при надзвуковій швидкості потоку.
- 15 Фізична сутність і види керування примежовим шаром

План заняття

- 1 Проведення усного опитування за темами 1...4.
- 2 Розв'язок типових задач.
- 3 Показ навчальних фільмів:
 - 4.1 "Аеродинаміка крила. Фрагмент 8. Підйомна сила крила". (2хв.51с)
 - 4.2 "Аеродинаміка крила. Фрагмент 9. Вихрова система крила. Сучасні форми крила". (5хв.48с)

4.3 Ефекти в'язкої рідини і газу. Фрагмент 6.: “Ламінарна і турбулентна течія. Примежовий шар” – (7.2.1.6) – 10 хв. 16 с.

4.4 Ефекти в'язкої рідини і газу. Фрагмент 7.: “Керування примежовим шаром. Злітно-посадочна механізація крила” – (7.2.1.7) – 9 хв. 35 с.

5 Виконання письмового контрольного експрес-завдання № 1 (30 хв).

6 Доведення варіантів ІКЗ і завдань Курсової роботи.

7 Кількість годин – 2 год.

Рекомендована література

1.1 - 30...35; 72...75; 1.2 - 50...139; 1.3 - 20...79 1.4 - 61...132;
1.8 - 41...56; 3.1; 3.2.

Практична частина заняття

Розв'язок типових задач за теоретичними матеріалами тем 1...4.

Рекомендований перелік літератури

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

Технічні засоби

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

Наочні посібники

1. Опорний конспект лекцій по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
7. Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
8. Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 (ПЗ-5.1, виконання ПКР № 1)

ТЕМА № 2: Основи кінематики і динаміки рідин і газів

ТЕМА № 3: Фізична сутність газодинамічних особливостей. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила. Фізична сутність тертя в примежовому шарі

ТЕМА № 4: Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь ЛА

ТЕМА № 5: Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту

Тематичні питання практичного заняття № 3:

По темі № 2

- 1 Рівняння стану газового середовища і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 2 Рівняння збереження енергії потоку рідини і газу, його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 3 Рівняння нерозривності потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 4 Рівняння Д. Бернуллі для рухомого потоку рідини і газу і його практичне використання в аерогідрогазодинаміці.
- 5 Теоретичні моделі моделювання течії потоку рідини і газу навколо твердих тіл.
- 6 Охарактеризувати прямолінійний рівномірний рух потоку рідини і газу, дати визначення термінам: трубка току, лінія току, траєкторія.
- 7 Охарактеризувати вихровий потік рідини і газу, дати визначення термінам: вихрова трубка, вихрова лінія, вихровий шнур.
- 8 Визначення потоку, розкрити поняття усталеного і не усталеного потоку, спектру течії навколо тіл.
- 9 Фізична картина течії рідини і газу навколо твердих тіл, характеристика зон течії.
- 10 Застосування рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі для пояснення фізичної сутності виникнення підйомної сили в аерогідрогазодинаміці.
- 11 Практичне застосування рівнянь Клайперона-Менделєєва і збереження енергії газового потоку в аерогідрогазодинаміці.

По темі 3:

- 1 Фізична сутність вихрового і потенційного руху. Використання газодинамічних особливостей при моделюванні течії і несучих поверхонь ЛА.
- 2 Практичне застосування теореми М. Є. Жуковського в аеродинаміці.
- 3 Фізична сутність і причини зміни примежового шару.
- 4 Сутність в'язкої кризи, відриву потоку при дозвуковій течії і хвильового відриву.
- 5 Способи керування примежовим шаром.

По темі 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 на графіку.

- 3 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихора, циркуляція швидкості.
- 4 Теорема Гельмгольца і її сутність, визначення напруги вихора.
- 5 Теорема Стокса і її сутність, визначення індукційної колової швидкості.
- 6 Теорема Томпсона і її сутність, визначення циркуляції швидкості.
- 7 Сутність газодинамічних особливостей, характеристика витоку і стоку.
- 8 Газодинамічна особливість – диполь, його сутність, основні параметри і формули розрахунку.
- 9 Сутність моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика.
- 10 Формула Біо-Савара, її загальний вигляд і застосування для нескінченних і напів-нескінченних вихорів.
- 11 Характеристика сили лобового опору, його складових частин і і аналіз залежності їх від геометричних характеристик профілю і кінематичних параметрів обтікання.
- 12 Розгляд фізичної сутності впливу стисливості середовища на аеродинамічні характеристики профілю.
- 13 Характеристика залежності аеродинамічних коефіцієнтів підйомної сили і сили лобового опору від числа Маха.
- 14 Поняття про аеродинамічну якість і поляру I роду.
- 15 Поняття про підсмоктувальну силу профіля і поляру II роду.

По темі - 5

- 1 Призначення, види, класифікація і основні конструктивні елементи НГ.
- 2 Геометричні параметри і характеристики НГ.
- 3 Кінематичні параметри НГ.
- 4 Геометричні параметри лопатей НГ.
- 5 Кінематичні параметри лопатей НГ.
- 6 Особливості обтікання НГ на режимах висіння і вертикальних переміщень.
- 7 Особливості обтікання НГ на режимах горизонтального польоту.
- 8 Сутність імпульсної теорії визначення тяги НГ.
- 9 Визначення індуктивних швидкостей НГ на режимах висіння.
- 10 Визначення індуктивних швидкостей НГ і тяги на режимах вертикального переміщення.
- 11 Фізична сутність режимів роботи НГ при зміні вертикальних швидкостей зниження вертольоту.

- 12 Визначення тяги та індуктивної швидкості на режимах косого обтікання НГ.
- 13 Сутність загальної вихрової теорії розрахунку тяги НГ.
- 14 Сутність лопатної і дискової теорії розрахунку тяги НГ.
- 15 Навести і охарактеризувати сили і моменти, що діють на елементи лопатей НГ.
- 16 Розкрити поняття про махові рухи лопаті НГ і навести основні сили, що діють в площині тяги НГ.
- 17 Охарактеризувати залежність кута злету лопатей відносно ГШ по азимутам від середнього кута конусності та кутів відхилення аеродинамічної вісі в повздожньому і поперечному напрямках.
- 18 Охарактеризувати динаміку зміни основних кінематичних параметрів лопатей по азимутам.
- 19 Охарактеризувати закономірності зміни кінематичних параметрів від махового руху лопатей і завалу конуса обертання НГ.
- 20 Охарактеризувати динаміку лопатей в площині обертання НГ і основні закономірності качання лопатей відносно ВШ.

План заняття

- 1 Проведення усного опитування за темами 2...5.
 - 2 Розв'язок типових задач.
 - 3 Показ навчальних фільмів:
 - 3.1 “Ефекти стисливості газового середовища. Фрагмент 3. Розповсюдження збурювань в газовому середовищі”; (5хв. 37с)
 - 3.2 “Аеродинаміка крила. Фрагмент 9. Вихрова система крила. Сучасні форми крил”. (5хв. 48с)
 - 3.3 “Ефекти в'язкості рідини і газу, Фрагмент 7. Керування примежовим шаром. Злітно-посадочна механізація крила”.
 - 4 Проведення підсумкової контрольної роботи № 1 за темами 2...5
- Кількість годин – 2 год.

Рекомендована література

- 1.1- 61...103; 1.2 - 197...209, 223...234, 298...315; 1.3 - 37...60, 90...100;
1.4 - 48...108, 133...144; 1.8 - 67...86; 3.1; 3.2.

Порядок проведення заняття

Теоретична частина заняття

Розгляд теоретичних питань за темами 2...5

Практична частина заняття

Перелік задач до практичного заняття

По темі - 4

- 1 Визначити коефіцієнт опору тиску і силу опору тиску, якщо відносний тиск перед профілем рівняється $0,015$, а за профілем – $0,007$, площа міделєвого перерізу складає $1,5 \text{ м}^2$, площа поверхні профілю – 2 м^2 , швидкість повітряного потоку 360 км/год , площа крила рівняється 40 м^2 , висота польоту – 1000 м .
- 2 Визначити коефіцієнт опору тертя і силу опору тертя, якщо число Рейнольдса рівняється 2300 , площа поверхні плоскої пластини – $0,5 \text{ м}^2$, площі поверхні профіля $1,0 \text{ м}^2$, площа крила 40 м^2 , політ літака здійснюється на висоті 1000 м на швидкості 480 км/год .
- 3 Визначити коефіцієнт індуктивного опору і силу індуктивного опору, якщо коефіцієнт підйомної сили рівняється $1,25$, середня аеродинамічна хорда крила рівняється $b_a=120 \text{ см}$, розмах крила – 25 м , політ здійснюється на висоті 2000 м з швидкістю – 480 км/год .
- 4 Визначити коефіцієнт лобового опору і силу лобового опору, якщо коефіцієнт лобового опору при $C_{ya} = 0$ рівняється $0,085$, подовження крила – 8 , коефіцієнт підйомної сили рівняється $0,9$, площа крила – 36 м^2 , політ здійснюється на висоті 1000 м з швидкістю – 540 км/год .
- 5 Визначити коефіцієнт індуктивного опору, силу індуктивного опору і відсмоктувальну силу, якщо політ виконується на висоті 1000 м з швидкістю 540 км/год , кут атаки 6° , коефіцієнт підйомної сили рівняється $1,2$, площа крила 50 м^2 , подовження крила – 10 .
- 6 Визначити коефіцієнт хвильового опору і силу хвильового опору, якщо критичне число Маха рівняється $0,7$, число Маха незбуреного потоку - $0,85$, коефіцієнт впливу форми профілю на розмір хвильового опору рівняється - 9 , політ здійснюється на висоті 1000 м , площа крила 45 м^2 .
- 7 Визначити підйомну силу, силу лобового опору і результуючу аеродинамічну силу літака при польоті з швидкістю $M = 0,5$ на висоті 2000 м , якщо коефіцієнт $C_{ya} = 0,8$, а $C_{xa} = 0,005 + 0,3 \cdot C_{ya}$, площа крила $S = 50 \text{ м}^2$.
- 8 Визначити повну аеродинамічну силу, що виникає на літаку в польоті, якщо при числі Маха $M = 0,75$, коефіцієнт $C_{ya} = 0,35$, висота польоту 500 м , полярна описується рівнянням $C_{xa} = 0,021 - 0,03C_{ya} + 0,102C_{ya}^2$, площа крила $S = 115 \text{ м}^2$.

- 9 При куті атаки $\alpha = 20^\circ$ без ковзання, коефіцієнти аеродинамічних сил мають значення $C_{xa} = 0,465$ і $C_{ya} = 1,99$. Визначити коефіцієнт аеродинамічної якості K , коефіцієнти повздовжньої сили C_x і нормальної сили C_y , а також нормальну силу на $H = 0$ м, при швидкості $V = 500$ км/год і площі несучої поверхні $S = 88$ м².
- 10 Визначити швидкість і швидкісний тиск над профілем крила і під ним, якщо швидкість невимушеного потоку рівняється $V = 300$ км/год на висоті польоту 1000 м, площа перерізу потоку перед профілем рівняється $S = 250$ мм, при цьому площа над профілем зменшується на 20% , а під профілем збільшується на 10% .
- 11 При куті атаки $\alpha = 15^\circ$ без ковзання, коефіцієнти аеродинамічних сил мають значення $C_{xa} = 0,55$ і $C_{ya} = 2,05$. Визначити коефіцієнти повздовжньої сили C_x і нормальної сили C_y , результуючий коефіцієнт аеродинамічних сил C_{Ra} та коефіцієнт аеродинамічної якості K .
- 12 Визначити аеродинамічну якість і швидкість польоту літака, якщо коефіцієнти аеродинамічних сил рівняються $C_{ya} = 0,6$ і $C_{xa} = 0,015 - 0,02C_{ya} + 0,11C_{ya}^2$, число Маха рівняється $M = 0,8$ на $H = 10000$ м.
- 13 Визначити числа Маха, Рейнольдса і швидкісний тиск, якщо літак летить на висоті де температура складає $t_n = \text{мінус } 45^\circ\text{C}$, температура на землі $t_0 = +15^\circ\text{C}$, швидкість польоту $V = 880$ км/год. Коефіцієнт кінематичної в'язкості складає $\nu_n = 32 \cdot 10^6$ м²/с, хорда крила $b_a = 2$ м.
- 14 Коефіцієнт лобового опору літака при виготовленні складає $C_{xa,1} = 0,019$. В процесі експлуатації і ремонту обшивки фюзеляжу літака коефіцієнт опору збільшився до $C_{xa,2} = 0,021$. Визначити на скільки збільшилась сила опору літака в польоті на висоті $H = 6000$ м при швидкості $V = 648$ км/год., площа крила $S = 140$ м².
- 15 В польоті літака з кутом атаки крила $\alpha = 0,07$ рад., коефіцієнт підйомної сили $C_{ya} = 0,6$. Визначити кут атаки нульової підйомної сили α_0 , якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється $C_{ya}^\alpha = 5,3$, а також аеродинамічну якість, якщо коефіцієнт лобового опору рівняється $C_{xa} = 0,015 + 0,03C_{ya}^2$.
- 16 Підйомна сила крила нескінченного розмаху площею $S = 10$ м² при $\alpha_1 = 0,0434$ рад і швидкості польоту $V_1 = 880$ км/год коло землі рівняється $Y_a = 17760$ Н, похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки профілю рівняється $C_{ya}^\alpha = 4,8$. Визначити коефіцієнт підйомної сили C_{ya} і кут атаки нульової підйомної сили α_0 .

- 17 Визначити аеродинамічну якість і швидкість польоту літака, якщо коефіцієнти аеродинамічних сил рівняються $C_{ya} = 0,7$ і $C_{xa} = 0,015 - 0,02C_{ya} + 0,11C_{ya}^2$, число Маха рівняється $M = 0,7$ на $H = 8000$ м.
- 18 Визначити мінімальну посадкову швидкість літака посадковою вагою $100Tc$, якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється $C_{ya}^a = 4,8$, критичний кут атаки $\alpha_{кр} = 15^0$, кут атаки при нульовій підйомній силі $\alpha_0 = \text{мінус } 2^0$, висота знаходження аеродрому $H = 1000$ м, площа крила складає 320 м².
- 19 Визначити максимальну посадкову вагу літака на аеродромі, що знаходиться на висоті 1500 м, якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється $C_{ya}^a = 5,4$, критичний кут атаки $\alpha_{кр} = 20^0$, кут атаки при нульовій підйомній силі $\alpha_0 = \text{мінус } 4^0$, площа крила рівняється , посадкова швидкість $V = 200$ км/год.

По темі - 5

- 1 Визначити ометаєму площу НГ вертольоту **Mi-8**, питоме навантаження і коефіцієнт заповнення, якщо діаметр НГ рівняється $21,3$ м, маса вертольоту – 12000 кгс, кількість лопатей – 5 , хорда лопаті складає $b_a=580$ мм.
- 2 Визначити частоту обертання, колову швидкість обертання кінця лопаті НГ і число Маха, якщо число обертання НГ вертольоту **Mi-24** рівняється 248 об/хв, діаметр НГ – $17,4$ м, висота польоту вертольоту складає 1000 м.
- 3 Визначити колову швидкість кінця лопаті НГ, коефіцієнт протікання і характеристику режиму роботи НГ вертольоту **Mi-2**, якщо частота обертання рівняється 26 1/с, діаметр НГ – $14,5$ м, швидкість горизонтального польоту вертольота рівняється 210 км/год, кут атаки НГ - 5^0 , індуктивна швидкість відкидання маси повітря рівняється 10 м/с.
- 4 Визначити результуючу швидкість обтікання перерізів лопатей і її складові, якщо частота обертання рівняється $59,1$ 1/с, швидкість горизонтального польоту вертольоту **AKI-3** складає 150 км/год, азимут лопаті 90^0 , кут атаки НГ рівняється 5^0 , в перерізі поточного радіусу лопаті 150 см кут взмаху лопаті - 3^0 , а швидкість зміни кута взмаху – $0,08$ 1/с, індуктивна швидкість відкидання маси повітря – 6 м/с.
- 5 Визначити характеристику режиму роботи НГ вертольоту **Mi-24** при горизонтальному польоті і геометричну скрутку лопатей НГ на поточному радіусі 8 м, якщо швидкість горизонтального польоту – 240

км/год, кут атаки *НГ* - 5^0 , обороти *НГ* рівняються **248 об/хв**, кут установки лопаті у комля - 7^0 , погонна зміна кута установки по радіусу лопаті рівняється $0,5^{рад}/м$, індуктивна швидкість відкидання маси повітря – **10 м/с.**, діаметр *НГ* – **17,4 м.**

- 6 Визначити горизонтальну і вертикальну складові швидкості обтікання перерізів лопатей *НГ* вертольоту **АКІ-3**, а також кут атаки перерізу лопаті на радіусі **4000 см**, якщо швидкість горизонтального польоту рівняється **150 км/год**, кількість обертання *НГ* – **565 об/хв**, кут атаки *НГ* – 5^0 в азимуті лопаті 180^0 , індуктивна швидкість відкидання маси повітря – **6 м/с**, кут взмаху лопаті – 6^0 , швидкість кута взмаху лопаті $0,1^{1/с}$, кут установки в перерізі рівняється 5^0 .

Рекомендований перелік літератури

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

Технічні засоби

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

Наочні посібники

1. Опорний конспект лекцій по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
7. Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
8. Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4 (ПЗ-6.1, виконання ЛР № 2)**ТЕМА № 6 Рівновага, стійкість і керованість літальних апаратів****Тематичні питання практичного № 4**

- 1 Схематизація сил і моментів, рівняння руху вертольоту в польоті.
- 2 Поняття про усталений і не усталений польоти, статична стійкість, демпфірування поведінки і керованості вертольоту.
- 3 Повздовжня стійкість і керованість вертольоту.
- 4 Поняття про бокову стійкість і керованість вертольоту.
- 5 Особливості пілотування вертольотом при автоматичній системи керування вертольотом.

Навчальна мета заняття:

- 1 Аналіз сил і моментів, що діють на вертольот, рівняння руху вертольоту..
- 2 Розгляд понятій усталений і не усталений польоти вертольоту. Вплив стійкості, демпфірування на керованість вертольоту.
- 3 Аналіз повздовжньої і бокової стійкості і керованості вертольоту.
- 4 Аналіз особливостей пілотування вертольотом при автоматичному керуванні.

Кількість годин – 2 год.

Навчальні питання:

- 1 Динаміка польоту вертольоту під впливом сил і моментів діючих на вертольот.
- 2 Статичні характеристики і особливості керування керування вертольотом по куту атаки.
- 3 Поняття про повздовній рух вертольоту, особливості стійкості і керованості швидкості польоту.
- 4 Поняття про стійкість вертольоту по перевантаженості вертольоту, шляхова і поперечна стійкості.
- 5 Особливості бічного балансування і бічної керованості вертольоту.

План заняття

- 1 Проведення усного опитування за темою № 6.
- 2 Розв'язок типових задач.
- 3 Виконання лабораторної роботи № 2 (ЛР-6.1)

Рекомендована література

1.1-132...197; 1.2 -210...261;1.3-238...283;

Порядок проведення заняття***Теоретична частина заняття***

Розгляд теоретичних питань за матеріалом теми № 6.

Практична частина заняття

Розв'язок типових задач за матеріалом теми № 6.

Перелік питань до обговорення

- 1 Поняття про схему сил і моментів діючих на вертольоті

- 2 Поняття про усталений і не усталений польоти вертольоту
- 3 Поняття про стичну стійкість вертольоту
- 4 Поняття про демпфірування поведінки вертольоту
- 5 Поняття про керованість вертольоту: потужність і ефективність керування.
- 6 Поняття про повздовжню стійкість і керованість вертольоту.
- 7 Статичні характеристики стійкості по куту атаки.
- 8 Особливості керування вертольоту по куту атаки.
- 9 Особливості повздовжньої керованості вертольоту по швидкості польоту.
- 10 Поняття про повздовжній рух вертольоту.
- 11 Поняття про стійкість вертольоту по швидкості польоту.
- 12 Поняття про стійкість вертольоту по перевантаженості вертольоту.
- 13 Поняття про бокову стійкість і керованість вертольоту.
- 14 Статичні характеристики стійкості по куту ковзання (*шляхова стійкість*).
- 15 Статичні характеристики стійкості по куту крену (*поперечна стійкість*).
- 16 Загальні поняття про бокову стійкість вертольоту.
- 17 Особливості бічної керованості вертольоту.
- 18 Загальні поняття про балансування вертольоту.
- 19 Загальні поняття про бічне балансування вертольоту.
- 20 Використання автоматичних систем керування вертольотом.
- 21 Особливості пілотування вертольотом при автоматичній системі керування вертольотом.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

по дисципліні «**Основи аеродинаміки та динаміки польотів**»,
«**Дослідження основних законів руху газу і фізичної картини течії
навколо складових частин літального апарату при дозвукових
швидкостях**»

Мета заняття:

- 1) Ознайомити здобувачів освіти з обладнанням аеродинамічної лабораторії і аеродинамічної труби
- 2) Демонстрація картини течії навколо тіл при дозвукових швидкостях і виявлення фізичної сутності виникнення аеродинамічних сил

- 3) Засвоїти методи виміру швидкості руху газу різними засобами і визначення швидкості польоту ЛА

Зміст заняття:

- 1) Демонстрація струминної течії (ліній току) навколо профілю крила з використанням димогенератора.

Необхідне обладнання:

- димогенератор;
- вузол для закріплення профілю крила і механізм управління профілем.

- 2) Демонстрація картини розподілу нормального тиску в каналі аеродинамічної труби.

Необхідне обладнання:

- канал з рухомою верхньою стінкою;
- батарейний манометр з скляними трубками.

- 3) Демонстрація використання рівняння Д. Бернуллі

Необхідне обладнання:

- пластикова кулька від настільного тенісу;
- пілосос з циліндричною насадкою і гнучкими патрубками.

- 4) Демонстрація картини течії навколо частини крила в аеродинамічній трубі

4.4 Визначення швидкості повітряного потоку з допомогою приймача повітряного тиску

Необхідне обладнання:

- вертолїтний приймач повітряного тиску;
- прилад показник швидкості УС- 450;
- мікроманометр ММН-1

4.5 Визначення швидкості повітряного потоку по перепаду тиску

Необхідне обладнання:

- мікроманометр ММН-1

4.6 Визначення швидкості повітряного потоку по двох перерізах аеродинамічної труби

Необхідне обладнання:

- мікроманометр ММН-1

**За вихідними даними Лабораторної роботи № 1
визначити аеродинамічні коефіцієнти $C_{y,a}(V)$ і $C_{x,a}(V)$
і побудувати графіки**

Параметри розрахунку	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_{\text{пов.і}}, \text{ м/с}$								
$q_n, \text{ Па}$								
$Y_a, \text{ Н}$	10000	10500	11000	11500	12000	12500	13000	14000
$X_a, \text{ Н}$	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1400
$S_{\text{кр}}, \text{ м}^2$	50							
C_{ya}								
C_{xa}								
K								
C_{ra}								

Розрахункові формули

$$q = \frac{\rho V^2}{2}; \quad Y_a = C_{ya} q S; \quad X_a = C_{xa} q S; \quad K = \frac{C_{ya}}{C_{xa}}; \quad C_{ra}^2 = C_{ya}^2 + C_{xa}^2$$

Контрольні питання

- 1 Характеристика основних фізичних властивостей повітря
- 2 Сутність гіпотези суцільності середовища
- 3 Прояви в'язкістних властивостей газу і рідини
- 4 Якими параметрами характеризується стисливість нерухомого газового середовища і потоку газу
- 5 Який рух рідини або газу називається усталеним ? а який неусталеним?
- 6 Що таке траєкторія, лінія току, трубка току, струминка?
- 7 Навести рівняння нерозривності потоку і пояснити фізичну сутність його складових
- 8 Які сили діють в потоці рідини і газу?
- 9 Навести рівняння Д. Бернуллі і пояснити фізичну сутність складових рівняння
- 10 Пояснити принцип виміру швидкості польоту літака з допомогою ППТ

- 11 Що називається приладовою, індикаторною і дійсною швидкістю?
Як вони взаємопов'язані між собою?
- 12 Пояснити принцип роботи мікроманометра ММН-1

Рекомендований перелік літератури

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 І, «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 І «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 І, 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 Аерокopter, 2008. – 280 с.

Інформаційні ресурси

Інформаційні ресурси в Інтернеті
<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 по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
7. Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
8. Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 (ПЗ-7.1, виконання ЛР № 3)

ТЕМА № 7: Усталений рух літальних апаратів

Тематичні питання практичного заняття № 5

- 1 Характеристика необхідної і розрахункової потужності НГ.
- 2 Характеристика режимів вертикального польоту: умови і особливості виконання висіння, вертикального підйому і вертикального зниження вертольоту.
- 3 Поняття про діапазон швидкостей і висот польоту вертольоту, характеристика швидкостей горизонтального польоту: мінімальної, економічної, крейсерської і максимальної.
- 4 Умови і особливості виконання горизонтального польоту. Поняття про І і II режими постійного горизонтального польоту.
- 5 Поняття про розрахунковий запас палива для виконання польоту, годинниковий і кілометровий витрати палива.

Навчальна мета заняття:

- 1 Розкрити поняття необхідної і розрахункової потужностей НГ.

- 2 Аналіз режимів вертикального польоту: висіння, вертикальний підйом і вертикальне зниження.
- 3 Характеристика швидкостей горизонтального польоту: мінімальної, економічної, крейсерської і максимальної.
- 4 Умови і особливості виконання горизонтального польоту. I і II режими горизонтального польоту.
- 5 Характеристика впливу основних експлуатаційних факторів на дальність і тривалість польоту вертольоту.
- 6 Кількість годин – 2 год.

Навчальні питання:

- 1 Поняття про необхідну і розрахункову тягу і потужність НГ.
- 2 Характеристика режимів вертикального польоту.
- 3 Умови і особливості виконання висіння.
- 4 Характеристика швидкостей горизонтального польоту: мінімальної, економічної, крейсерської і максимальної.
- 5 Поняття про діапазон швидкостей і висот польоту вертольоту.
- 6 Поняття про I і II режими постійного горизонтального польоту.
- 7 Особливості набору висоти і зниження по похилій траєкторії.
- 8 Поняття про годинниковий і кілометровий витрати палива.
- 9 Подовженість горизонтального польоту.
- 10 Вплив основних експлуатаційних факторів на дальність і тривалість польоту.

План заняття

- 1 Проведення усного опитування за темою № 7.
- 2 Розв'язок типових задач по темі 7
- 3 Виконання лабораторної роботи № 3 (ЛР-7.1)

Рекомендована література

1.1-132...197; 1.2 -210...261;1.3-238...283;

Порядок проведення заняття

Теоретична частина заняття

Розгляд теоретичних питань за матеріалом теми № 7.

Практична частина заняття

Розв'язок типових задач за матеріалом теми № 7.

Перелік питань до проведення заняття

- 1 Поняття про необхідну і розрахункову тягу і потужність НГ.
- 2 Характеристика необхідної потужності НГ.
- 3 Характеристика розрахункової потужності НГ.
- 4 Характеристика режимів вертикального польоту.
- 5 Умови і особливості виконання висіння.
- 6 Умови і особливості вертикального підйому вертольоту.
- 7 Умови і особливості вертикального зниження вертольоту.
- 8 Характеристика швидкостей горизонтального польоту: мінімальної, економічної, крейсерської і максимальної.
- 9 Поняття про діапазон швидкостей і висот польоту вертольоту.
- 10 Поняття про I і II режими постійного горизонтального польоту.
- 11 Умови і особливості виконання горизонтального польоту.
- 12 Особливості набору висоти по похилій траєкторії.
- 13 Особливості зниження по похилій траєкторії.
- 14 Умови і особливості виконання планування на РСНВ.
- 15 Поняття про розрахунковий запас палива для виконання польоту.
- 16 Поняття про годинниковий і кілометровий витрати палива.
- 17 Подовженість горизонтального польоту.
- 18 Вплив основних експлуатаційних факторів на дальність і тривалість польоту.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

по дисципліні «ОСНОВИ АЕРОДИНАМІКИ та ДИНАМІКИ ПОЛЬОТІВ»,
*«Дослідження основних законів руху газу і фізичної картини течії
 навколо складових частин літального апарату при дозвукових
 швидкостях»*

Мета заняття:

- 1 Ознайомити здобувачів освіти з обладнанням аеродинамічної лабораторії і аеродинамічної труби
- 2 Демонстрація картини течії навколо тіл при дозвукових швидкостях і виявлення фізичної сутності виникнення аеродинамічних сил
- 3 Засвоїти методи виміру швидкості руху газу різними засобами і визначення швидкості польоту ЛА

Зміст заняття:

Демонстрація струминної течії (ліній току) навколо профілю крила з використанням димогенератора.

Необхідне обладнання:

- димогенератор;
- вузол для закріплення профілю крила і механізм управління профілем.

Демонстрація картини розподілу нормального тиску в каналі аеродинамічної труби.

Необхідне обладнання:

- канал з рухомою верхньою стінкою;
- батарейний манометр з скляними трубками.

Демонстрація використання рівняння Д. Бернуллі

Необхідне обладнання:

- пластикова кулька від настільного тенісу;
- пілосос з циліндричною насадкою і гнучкими патрубками.

Демонстрація картини течії навколо частини крила в аеродинамічній трубі

Визначення швидкості повітряного потоку з допомогою приймача повітряного тиску

Необхідне обладнання:

- вертолiтний приймальник повітряного тиску;
- прилад показник швидкості УС- 450;
- мікроманометр ММН-1

Визначення швидкості повітряного потоку по перепаду тиску

Необхідне обладнання:

- мікроманометр ММН-1

Визначення швидкості повітряного потоку по двох перерізах аеродинамічної труби

Необхідне обладнання:

- мікроманометр

**За вихідними даними Лабораторних робіт № 1 і № 2
визначити аеродинамічні коефіцієнти $C_y(\alpha)$ і $C_x(\alpha)$,
аеродинамічну якість $K(\alpha)$ і побудувати поляри I і II роду**

Параметри розрахунку	1	2	3	4	5	6	7	8
α_i , град.	2	4	6	8	10	12	14	16
$C_{ya,i}$								
$C_{xa,i}$								

K								
C_y								
C_x								
C_R								

Розрахункові формули

$$K = \frac{C_{ya}}{C_{xa}}; \quad C_y = C_{ya} \cdot \cos\alpha + C_{xa} \cdot \sin\alpha; \quad C_x = C_{xa} \cdot \cos\alpha - C_{ya} \cdot \sin\alpha;$$

$$C_R^2 = C_y^2 + C_x^2$$

1.4 Контрольні питання

- 1.4.1 Характеристика основних фізичних властивостей повітря
- 1.4.2 Сутність гіпотези суцільності середовища
- 1.4.3 Прояви в'язкістних властивостей газу і рідини
- 1.4.4 Якими параметрами характеризується стисливість нерухомого газового середовища і потоку газу
- 1.4.5 Який рух рідини або газу називається усталеним ? а який неусталеним?
- 1.4.6 Що таке траєкторія, лінія току, трубка току, струминка?
- 1.4.7 Навести рівняння нерозривності потоку і пояснити фізичну сутність його складових
- 1.4.8 Які сили діють в потоці рідини і газу?
- 1.4.9 Навести рівняння Д. Бернуллі і пояснити фізичну сутність складових рівняння
- 1.4.10 Пояснити принцип виміру швидкості польоту літака з допомогою ППТ
- 1.4.11 Що називається приладовою, індикаторною і дійсною швидкістю? Як вони взаємопов'язані між собою?
- 1.4.12 Пояснити принцип роботи мікроманометра ММН-1

Рекомендований перелік літератури

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 І, «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 І «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 І, 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 Аерокopter, 2008. – 280 с.

Інформаційні ресурси

Інформаційні ресурси в Інтернеті
<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 по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
7. Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
8. Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6 (ПЗ-8.1, виконання ПКР № 2)

ТЕМА № 6 Рівновага, стійкість і керованість літальних апаратів

ТЕМА № 7: Усталений рух літальних апаратів

ТЕМА № 8: Неусталений рух ЛА

Тематичні питання практичного № 6

По темі - 6

- 1 Схематизація сил і моментів, рівняння руху вертольоту в польоті.
- 2 Поняття про усталений і не усталений польоти, статична стійкість, демпфірування поведінки і керованості вертольоту.
- 3 Повздовжня стійкість і керованість вертольоту.
- 4 Поняття про бокову стійкість і керованість вертольоту.
- 5 Особливості пілотування вертольотом при автоматичній системи керування вертольотом.

По темі - 7

- 1 Характеристика необхідної і розрахункової потужності НГ.
- 2 Характеристика режимів вертикального польоту: умови і особливості виконання висіння, вертикального підйому і вертикального зниження вертольоту.
- 3 Поняття про діапазон швидкостей і висот польоту вертольоту, характеристика швидкостей горизонтального польоту: мінімальної, економічної, крейсерської і максимальної.
- 4 Умови і особливості виконання горизонтального польоту. Поняття про I і II режими постійного горизонтального польоту.

По темі- 8

- 1 Особливості зльоту і посадки по - вертольотному.
- 2 Особливості зльоту і посадки по - самольотному.
- 3 Етапи і дистанції зльоту і посадки вертольоту.
- 4 Особливості руху вертольоту по землі і експлуатаційні обмеження.
- 5 Особливості посадки на режимі авторотації.
- 6 Особливості посадки вертольоту з боковим вітром.

Навчальна мета заняття:

- 1 Аналіз сил і моментів, що діють на вертольот, рівняння руху вертольоту
- 2 Розгляд понять усталений і не усталений польоти вертольоту. Вплив стійкості, демпфірування на керованість вертольоту.
- 3 Аналіз повздовжньої і бокової стійкості і керованості вертольоту.
- 4 Аналіз особливостей пілотування вертольотом при автоматичному керуванні.
- 5 За результатами підсумкової контрольної роботи оцінити рівень засвоєння знань і навичок основ динаміки польотів літаків і НГ вертольоту.
- 6 Виконання підсумкової контрольної роботи № 3
- 7 Кількість годин – 2 год.

Рекомендована література

1.1-132...197; 1.2 -210...261;1.3-238...283;

Рекомендований перелік літератури

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 І, «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 І «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 І, 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

<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 по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
7. Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
8. Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7 (Проводиться в поза аудиторні часи)

Тема заняття: Захист курсової роботи.

Мета заняття: За результатами захисту курсової роботи оцінити рівень засвоєння теоретичних знань і практичних навичок аеродинаміки літальних апаратів і визначення аеродинамічних характеристик профілю і несучих поверхонь ЛА.

План заняття

- 1 Проведення захисту курсової роботи згідно варіантів завдань.

Перелік питань до захисту курсової роботи

- 1 Характеристика систем координат, що використовуються в аерогідрогазодинаміці, дати визначення кута атаки і кута ковзання.
- 2 Характеристика складових частин результуючої аеродинамічної сили та повного аеродинамічного моменту в проекціях на вісі швидкісної і зв'язаної систем координат.
- 3 Сутність середньої аеродинамічної хорди профілю крила, геометричний метод визначення місця розташування і розміру середньої аеродинамічної хорди для крил складної форми в плані.
- 4 Форми несучих поверхонь в плані, основні геометричні і кінематичні параметри несучих поверхонь ЛА.
- 5 Аеродинамічні форми профілю несучих поверхонь. Визначення установчого кута і сутність геометричної, аеродинамічної і конічної круток несучих поверхонь.
- 6 Характеристика розподілу коефіцієнтів нормального тиску на профілі крила: векторна діаграма по поверхні профілю і епюра розподілу тиску по хорді профілю.
- 7 Поняття про центр тиску і аеродинамічний фокус профілю.
- 8 Характеристика коефіцієнта підйомної сили профілю, графічної залежності $C_{ya} = f(\alpha)$, характерні ділянки на графіку.
- 9 Характеристика лобового опору профілю і несучої поверхні ЛА, графічної залежності $C_{xa} = f(\alpha)$, характерні ділянки на графіку.
- 10 Профільний опір, його фізична сутність, складові частини, вплив геометричних і кінематичних параметрів на протікання залежності $C_{xa,p} = f(\alpha)$.
- 11 Сутність індуктивного опору, вплив кінематичних і геометричних параметрів профілю крила на його розмір і протікання залежності $C_{xa,i} = f(\alpha)$.
- 12 Аеродинамічна якість профілю крила, особливості побудови і характерні ділянки на графіку $K = f(\alpha)$.
- 13 Фізична сутність підсмоктувальної сили профілю крила і її вплив на протікання залежності $C_x = f(\alpha)$, характерні ділянки на графіку.
- 14 Поляра **I роду**, її сутність, особливості побудови і характерні ділянки графіку.
- 15 Поляра **II роду**, її сутність, особливості побудови і характерні ділянки графіку.

16 Момент тангажу профілю крила, його сутність і залежність коефіцієнта тангажа від кута атаки $m_z = f(\alpha)$.

Рекомендована література

1.8- 116...142; 192...201; 2.5 - 116...141.

Рекомендований перелік літератури

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
<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 по дисципліні «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
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 «Основи аеродинаміки та динаміки польотів».
7. Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Основи аеродинаміки та динаміки польотів»
8. Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”