

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

**Циклова комісія аеронавігації**

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ**

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

**Харків 2021**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

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

**СХВАЛЕНО**

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

**ПОГОДЖЕНО**

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

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

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

**Рецензенти:**

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

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

**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 № 4							
Тема № 1. Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки. Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів	14	8	-	2	-	4	ПКЕЗ № 1 за темою 1 на 30 хв
Тема № 2. Основи кінематики рідини і газу	14	8	-	2	-	2	ПКЕЗ № 2 за темою 2 на 30 хв
Тема № 3. Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла Лавалю	10	8	-	2	-	4	ПЗ - 3.1 Усне опитування за темою 3
Тема № 4. Закономірності вихрового руху газового потоку. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила	10	4	-	2	-	4	ПКЕЗ № 3 за темами 3 і 4 на 30 хв
Тема № 5. Основи теорії примежового шару	10	4	-	2	-	4	ПЗ - 5.1 Усне опитування

							за темо ю 5
Тема № 6. Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі	14	6	-	4	-	4	ПКЕЗ № 4 за темам и 5 і 6 на 30 хв ПКР № 1 за темам и 1 – 6 Захис т ПКЗ № 1 за темам и 1 – 6
Тема № 7. Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь	23	12	-	4	-	7	ПКЕЗ № 5 за ЛК: 7.1 і 7.2 30 хв ПКЕЗ № 6 за ЛК: 7.3 - 7.5 30 хв
Тема № 8. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту	19	10	-	4	-	5	ПКЕЗ № 7 за ЛК: 8.1 - 8.3 30 хв ПЗ- 8.2, усне опиту вання за ЛК:8.

							4 і 8.5..
Тема № 9. Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів	11	4	-	2	-	5	ПКР № 2 за темами 7 – 9 Захист ІКЗ № 2 за темами 7 – 9 ПЗ-3 КР, Захист КР
<b>Всього:</b>	<b>100</b>	<b>60</b>	<b>-</b>	<b>26</b>	<b>-</b>	<b>14</b>	<b>екзам ен</b>

**1.2 Розподіл часу навчальної дисципліни за темами  
(заочна форма навчання)  
не передбачено навчальним планом**

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 № 4							
Тема № 1. Основні поняття і співвідношення аерогідродинаміки. Фізико-механічні властивості і основні параметри рідин і газів	14	1	-	-	-	13	
Тема № 2. Основи кінематики рідини і газу	14	1	-	1	-	12	ПКЕЗ № 1 за темами 1 і 2

							на 30 хв
Тема № 3. Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла Лавалю	10	1	-	-	-	9	
Тема № 4. Закономірності вихрового руху газового потоку. Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила	10	1	-	1	-	8	
Тема № 5. Основи теорії примежового шару	10	2	-	-	-	8	
Тема № 6. Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі	14	1	-	-	-	13	
Тема № 7. Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь	23	2	-	-	-	21	
Тема № 8. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту	19	3	-	-		16	ПКЕЗ № 2 за темам и 7 і 8
Тема № 9. Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів	11	1	-	1	-	9	ПКР № 1 за темам и 1 – 9 Захис т ІКЗ за темам и 1 - 9 ПЗ-3 КР, Захис т КР
<b>Всього:</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>82</b>	<b>екзам ен.</b>

## 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.

**Мета:** розширення, поглиблення й деталізація знань, отриманих здобувачами освіти на лекціях та в процесі самостійної роботи і спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, умінь і навичок, розвиток творчого мислення та усного мовлення здобувачів освіти, навичок вільного володіння практикою використання теоретичних основ аерогідрогазодинаміки, аналізу і оцінки аеродинамічних характеристик і їх залежності від геометричних і кінематичних параметрів профілю та несучих поверхонь, режимів течії потоку в примежовому шарі, впливу стисливості, критеріїв течії: чисел Маха, Рейнольдса, видів і причин відриву потоку від поверхонь профілю і несучих поверхонь.

**Завдання:** закріплення здобувачами освіти знань по теорії дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміки)» і їх практичного використання, а саме:

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

В результаті виконання практичної роботи здобувач освіти повинен

**знати:**

- основні фізико-механічні властивості і параметри рідини і газу ;
- основні закони гідро газодинаміки рухомої рідини і газу;
- фізичну сутність процесів при взаємодії між рідиною і твердим тілом;
- аеродинамічні характеристики профілю, крила і несучого гвинта;
- загальні принципи конструювання повітряних суден;
- 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 гідро газодинаміки для визначення пара-метрів течії в різних умовах і пояснення виникнення аеродинамічних сил і моментів;
- розраховувати аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь ПС 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;
- виконувати розрахунки фізико-механічних параметрів потоку, аеродинамічних сил і моментів профілю і несучих поверхонь ПС, коефіцієнтів аеродинамічних сил і моментів в різних системах координат;
- самостійно виконати курсову роботу по дисципліні, щодо розрахунку аеродинамічних характеристик профілю несучих поверхонь, їх аналізу і оцінки та практичного використання

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

#### **Тема практичного заняття:**

- 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.

#### **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.

Кількість годин – 2.

#### **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.

### **План заняття**

- 1 Проведення усного опитування за темою 1.
- 2 Показ навчальних фільмів:
  - 2.1 “Кінематика рідини і газу. Фрагмент 1. Способи спостереження течії рідини і газу”;
  - 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 письмово контрольного експрес-завдання №1 (30хв).

### **Рекомендована література**

1.1. 4-19; 1.2. 5-34; 1.3. 7-27; 1.4. 5-25; 1.8. 3-23; 3.1; 3.2.

### **Порядок проведення заняття**

#### **Теоретична частина заняття**

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 гази 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.

### **Практична частина заняття**

Розв'язок типових задач по темі.

### **Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання**

- 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.

### **Перелік задач до письмового контрольного експрес-завдання**

- 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 кГс/см<sup>2</sup>**, а температура **500<sup>0</sup>С**.
- 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<sup>0</sup>С** до **+ 300<sup>0</sup>С**, 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<sup>0</sup>С** до **+ 500<sup>0</sup>С** і швидкість руху повітря при числі Маха **М = 0,7** та температурі **500<sup>0</sup>С**.

- 4 Визначити масову густину, питому вагу і питомий об'єм, якщо вага газ рівняється **7 Г**, а об'єм циліндра складає **0,9 л**, а також масу газу.
- 5 Тиск повітря на виході із компресора ТРД рівняється **10 кГс/см<sup>2</sup>**, температура рівняється **400<sup>0</sup>С**. 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 кГс/см<sup>2</sup>** і **90<sup>0</sup>С**.
- 7 У скільки разів зменшиться об'єм газу в циліндрі в процесі стискання, якщо перед стисканням тиск і температура рівнялися **1,8 кГс/см<sup>2</sup>** і **35<sup>0</sup>С**, а в кінці стискання тиск і температура рівнялися **16 кГс/см<sup>2</sup>** і **600<sup>0</sup>С**, 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<sup>2</sup>**, а температура **+ 35<sup>0</sup>С**.
- 9 Визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря на висоті **10000 м**, якщо коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється **1,457\*10<sup>-5</sup> Н с/м<sup>2</sup>**, а так же число Рейнольдса для швидкості **V = 360км/год** і хорді профіля **b = 1500мм**.
- 10 Визначити тиск, масову густину і швидкість звуку на висоті, якщо температура на землі рівняється **+10<sup>0</sup>С**, а на висоті **-40<sup>0</sup>С** і число Маха при швидкості **V = 420км/год**/
- 11 Визначити числа Маха і Рейнольдса на висоті **10000 м**, якщо швидкість літака рівняється **900 км/год**, швидкість звуку на землі **0,340 км/с**, коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря на висоті рівняється **3,55\*10<sup>-5</sup> м<sup>2</sup>/с**, хорда крила рівняється **150 см**.
- 12 Визначити масову густину, питому вагу і питомий об'єм при надлишковому тиску **p<sub>изб.</sub> = 4900 Па** і температурі **t = 200<sup>0</sup>С**, прийнявши, що атмосферний тиск **p<sub>а</sub> = 98100 Па**, газова постійна повітря **R = 287 Дж/кг\*<sup>0</sup>К**.
- 13 Рівень мазуту у вертикальному циліндричному резервуарі діаметром **d = 300см** за деякий час знизився на **Δh = 5 дм**. Визначити масу і вагу витраченого мазуту, а також питомі об'єм і вагу, якщо масова густина при температурі навколишнього середовища **t = 20<sup>0</sup>С** рівняється **ρ = 960 кг/м<sup>3</sup>**.(9)
- 14 Визначити густину, питому вагу і питомий об'єм суміші, якщо до об'єму **W<sub>1</sub> = 6 л** масла **И-12**, густиною **ρ<sub>1</sub> = 880 кг/м<sup>3</sup>**, долили керосин **ТС-1** густиною **ρ<sub>2</sub> = 800 кг/м<sup>3</sup>** і отримали суміш об'ємом **W<sub>см</sub> = 11 л**.

- 15 Визначити питомий об'єм  $w$  і питому вагу  $\gamma$  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  $W = 500 \text{ л.}$ (5)
- 16 В резервуарі знаходиться **50 л** нафти, яка важить **420 Н**, визначити масову густину, питоми об'єм, вагу і масу нафти.(12)
- 17 Об'єм мазуту знизився на **1500 л**, визначити на скільки зменшилась маса і вага мазуту, якщо масова густина рівняється **990 кг/м<sup>3</sup>**, а також визначити питому вагу і питомий об'єм мазуту.(16)
- 18 Визначити у скільки разів підвищилась швидкість звуку повітря, якщо при стисканні його в циліндрі двигуна температура підвищилась з **+ 20°C** до **+ 500°C**, а також на скільки градусів і у скільки разів підвищилась температура газу по шкалам Цельсія і Кельвіна.

### Список рекомендованої літератури

#### Основна література:

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

#### Допоміжна література:

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

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

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни.

Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.

- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

## **ТЕМА № 2: Основи кінематики рідини і газу**

### **Тема практичного заняття:**

- 1 Основні поняття і параметри прямолінійної рівномірної течії і вихрового руху рідини і газу.
- 2 Основні рівняння рухомого потоку рідин і газів і їх практичне використання в аерогідрогазодинаміці.

### **Навчальна мета заняття:**

- 1 Закріплення теоретичних знань про потік рідини і газу, прямолінійну рівномірну течію і обертальний рух частинок рідини і газу.
- 2 Розгляд теоретичних моделей обтікання твердих тіл потоком рідини і газу.
- 3 Практичне використання в аерогідрогазодинаміці основних рівнянь рухомого потоку рідини і газу.

Кількість годин – 2.

### **Навчальні питання:**

- 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 галузі 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.

### План заняття

- 1 Проведення усного опитування за лекціями теми 2.
- 2 Показ навчального фільму: “Кінематика рідини і газу. Фрагмент 2. Безвихрова течія”.
- 3 Розв’язок типових задач.
- 4 Виконання письмово контрольного експрес-завдання № 2 (30хв).

### Рекомендована література

1.1. 15-30; 1.2. 35-48, 77-86; 1.3. 14-28; 1.4. 15-22; 1.8. 3-41; 3.1; 3.2.

### Порядок проведення заняття

#### Теоретична частина заняття

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.

### **Практична частина заняття**

Розв'язок типових задач за теоретичними матеріалами теми № 2.

#### **Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання**

- 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.

#### **Перелік задач до письмового контрольного експрес-завдання**

1. На якій висоті здійснюється політ літака, якщо температура повітря на поверхні землі становить **+ 30 °С**, а за бортом літака температура середовища складає **мінус 35°С**. 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 **Н = 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 °С** до **+ 40 °С**, якщо число Маха рівняється **0,8**.
5. Літак летить на висоті **Н = 8000 м** з швидкістю **V = 720 км/год**. Яку швидкість буде показувати прилад показника швидкості, якщо шкала приладу відградує на висоту **Н = 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<sub>w</sub> = 200 м³/с**, а також визначити масову витрату, якщо питомий об'єм рідини рівняється **w = 1,18·10<sup>-3</sup> 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  **$V = 1152 \text{ км/год}$** , 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  **$V = 540 \text{ км/год.}$** , при зміні висоти з  **$H_1 = 1000 \text{ м}$**  до  **$H_2 = 6000 \text{ м}$** , 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  **$V_{\text{фак}} = 792 \text{ км/год.}$**
12. Визначити швидкість течії повітря в струмені, якщо літак летить з швидкістю  **$V = 540 \text{ км/год}$** , 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.

### Список рекомендованої літератури

#### Основна література:

- 8 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 9 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.

- 10 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за заг. редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
- 11 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
- 12 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
- 13 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.
- 14 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотiв вертольотiв. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довiдник по аеродинамiцi, динамiцi польоту вертольоту. Навчальний посiбник. – М.: Воєнвiдат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка i динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвiдат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА i гiдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати i безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотiв. Підручник. - М.: Транспорт, 1972.

– 184 с.

- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### **ТЕМА № 3: Рівняння руху газового потоку з урахуванням стисливості середовища. Теорія сопла Лавалля**

#### **ТЕМА ЗАНЯТТЯ:**

- 1 Вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів.
- 2 Фізична сутність критичних параметрів газового потоку, критичного перерізу і критичної швидкості потоку.

**Мета заняття:** Закріплення теоретичних знань про вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів.

Кількість годин – 2.

**Навчальні питання:**

- 1 Рівняння Д. Бернуллі для газового потоку з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 2 Залежність температури загальмованого газового потоку від швидкості руху, сутність кінетичного нагрівання поверхні обтікаємого тіла.
- 3 Гранична швидкість газового потоку і її залежність від температури середовища
- 4 Залежність тиску і масової густини газового потоку від числа Маха.
- 5 Критичний переріз, його сутність і визначення критичних параметрів потоку.
- 6 Рівняння Л. Ейлера з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 7 Критична швидкість стисливого газового потоку, основні закономірності потоку при розгоні його від дозвукової до надзвукової швидкості.
- 8 Сопло Лавалю, залежність параметрів газового потоку по довжині сопла Лавалю і питомої витрати газу від швидкості.
- 9 Залежність фізичних параметрів потоку від швидкості його руху.
- 10 Фізична сутність критичних параметрів газового потоку.
- 11 Вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів потоку.

**План заняття**

- 1 Проведення усного опитування за темою 3.
- 2 Розв'язок типових задач.
- 3 Показ навчального фільму:
  - 3.1 “Ефекти стисливості газового середовища. Фрагмент 3. Розповсюдження збурювань в газовому середовищі”.

**Рекомендована література**

2.230-35; 1.2. 132-139; 1.3. 20-79; 1.4. 108-132; 1.8. 41-56; 3.1; 3.2.

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

Розгляд теоретичних питань особливостей обтікання твердих тіл стисливим газовим потоком.

**Практична частина заняття**

Розв'язок типових задач за теоретичними матеріалами теми 3.

## Список рекомендованої літератури

### Основна література:

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

### Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотiв вертольотiв. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довiдник по аеродинамiцi, динамiцi польоту вертольоту. Навчальний посiбник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка i динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.

- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гідравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокopter, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.



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

### **Тема практичного заняття:**

- 1 Вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів. Фізична сутність критичних параметрів газового потоку, критичного перерізу і критичної швидкості потоку.
- 2 Фізична сутність вихрового і потенційного руху. Використання газодинамічних особливостей при моделюванні течії і несучих поверхонь ЛА.
- 3 Практичне застосування теореми М. Є. Жуковського в аеродинаміці.

### **Навчальна мета заняття:**

- 1 Закріплення теоретичних знань про вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів.
  - 2 Закріплення теоретичних знань щодо сутності вихрового руху і його використання в теоремі М. Є. Жуковського.
- Кількість годин – 2.

### **Навчальні питання:**

- 1 Рівняння Д. Бернуллі для газового потоку з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 2 Рівняння Л. Ейлера з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 3 Сопло Лавалю, залежність параметрів газового потоку по довжині сопла Лавалю.
- 4 Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу: визначення, сутність і розрахункова формула.
- 5 Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки, її фізична сутність і характерні дільниці на графіку.
- 6 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихора, циркуляція швидкості, індукційна колова швидкість.
- 7 Сутність моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика.
- 8 Формула Біо-Савара, її загальний вигляд і застосування для нескінченних і напів-нескінченних вихорів.

### **План заняття**

- 1 Проведення усного опитування за лекціями тем 3 і 4.
- 2 Показ навчальних фільмів:
  - 2.1 “Ефекти стисливості газового середовища. Фрагмент 3.

Розповсюдження збурювань в газовому середовищі”;

2.2 “Аеродинаміка крила. Фрагмент 8. Підйомна сила крила”.

3 Розв’язок типових задач.

4 Виконання письмово контрольного експрес-завдання № 3 (30хв).

### **Рекомендована література**

1.1. 15-35; 72-75; 1.2. 50-139, 1.3. 20-79; 1.4. 61-132; 1.8. 41-58; 3.1; 3.2.

### **Порядок проведення заняття**

#### **Теоретична частина заняття**

Розгляд теоретичних питань особливостей обтікання твердих тіл стисливим газовим потоком.

#### **Практична частина заняття**

Розв’язок типових задач за теоретичними матеріалами тем 3 і 4.

#### **Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання**

- 1 Рівняння Д. Бернуллі для газового потоку з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 2 Залежність температури загальмованого газового потоку від швидкості руху, сутність кінетичного нагрівання поверхні обтікаємого тіла.
- 3 Гранична швидкість газового потоку і її залежність від температури середовища
- 4 Залежність тиску і масової густини газового потоку від числа Маха.
- 5 Критичний переріз, його сутність і визначення критичних параметрів потоку.
- 6 Рівняння Л. Ейлера з урахуванням стисливості, його фізична сутність.
- 7 Критична швидкість стисливого газового потоку, основні закономірності потоку при розгоні його від дозвукової до надзвукової швидкості.
- 8 Сутність сопла Лавалю, залежність параметрів газового потоку по довжині сопла Лавалю, а також питомої витрати газу від швидкості.
- 9 Залежність фізичних параметрів потоку від швидкості його руху.
- 10 Фізична сутність критичних параметрів газового потоку з урахуванням стисливості.
- 11 Вплив стисливості газового середовища на зміну фізичних параметрів потоку.
- 12 Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу: визначення, сутність і розрахункова формула.

- 13 Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки, її фізична сутність і характерні дільниці на графіку.
- 14 Сутність вихрової течії, характеристика основних параметрів вихрової течії: напруга вихора, циркуляція швидкості.
- 15 Теорема Гельмгольца і її сутність, визначення напруги вихора.
- 16 Теорема Стокса і її сутність, визначення індукційної колової швидкості.
- 17 Теорема Томпсона і її сутність, визначення циркуляції швидкості.
- 18 Сутність газодинамічних особливостей, характеристика витoku і стоку.
- 19 Газодинамічна особливість – диполь, його сутність, основні параметри і формули розрахунку.
- 20 Сутність моделювання течії газового потоку газодинамічними особливостями і її коротка характеристика.
- 21 Формула Біо-Савара, її загальний вигляд і застосування для нескінченних і напів-нескінченних вихорів.

#### **Перелік задач до письмового контрольного експрес-завдання**

- 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  **$H = 5000$  м** при швидкості  **$V = 720$  км/год.** площа поперечного перетину струменю перед профілем рівняється  **$S = 10$  см<sup>2</sup>**, 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  **$1,013 \cdot 10^5$  Па**, тиск в критичній точці на фюзеляжі літака рівняється  **$1,108 \cdot 10^5$  Па.**, а масова густина рівняється  **$0,5$  кг/м<sup>3</sup>**.
- 4 Визначити як зміниться висота і швидкість польоту літака, якщо температура повітря змінюється з  **$+ 20$  °С** на поверхні землі, до **мінус  $45$  °С** 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 **мінус  $40$  °С** до **+**

- 10 °C**, якщо політ здійснюється на висоті **5000 м**, а число Маха рівняється **0,8**.
- 8 Літак летить на висоті **H = 8000 м**, яку швидкість буде показувати прилад показника швидкості і яка буде фактична повітряна швидкість, якщо повний тиск рівняється  **$1,15 \cdot 10^5$  Па**.
  - 9 Визначити як зміниться масова витрата рідини при швидкості течії **V = 125 км/год**. на висоті **0 м**, при зміні діаметру трубопроводу з **25 см<sup>2</sup>** до **50 см<sup>2</sup>**.
  - 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 **2рази**. 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 **мінус 30°C** до **50°C**.
  - 13 Визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря і число Рейнольдса на висоті **10000 м**, якщо коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється  **$1,457 \cdot 10^{-5}$  Н с/м<sup>2</sup>**, швидкість літака рівняється **420 км/год**, діаметр фюзеляжу літака 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  **$1,457 \cdot 10^{-5}$  Н с/м<sup>2</sup>**, хорда крила рівняється **1,5 м**.

### Список рекомендованої літератури

#### Основна література:

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016. – 402 с.: іл.
- 3 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за заг. редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
- 4 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка

- польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
- 5 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
  - 6 Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. - 333 с.: іл.
  - 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливій ситуації. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гiдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972.– 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту

легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.

15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.

16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КПЦА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.

2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.

3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.

4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.

5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### **ТЕМА № 5: Основи теорії примежового шару**

#### **ТЕМА ЗАНЯТТЯ:**

1 Фізична сутність і причини зміни примежового шару.

2 Сутність в'язкої кризи, відриву потоку при дозвуковій течії і хвильового відриву.

3 Способи керування примежовим шаром.

#### **Мета заняття:**

1 Закріплення теоретичних знань про фізичну сутність і причини зміни примежового шару.

2 Розкриття сутності кризових явищ в примежовому шарі: відрив потоку, в'язка криза і хвильовий відрив.

Кількість годин – 2.

#### **Навчальні питання:**

1 Сутність примежового шару, його визначення і характер зміни фізичних параметрів по товщині шару.

2 Структура примежового шару, алгоритм розрахунку основних

показників.

- 3 Умови зміни структури примежового шару, вплив умов обтікання на положення точки переходу ламінарного шару в турбулентний.
- 4 Поняття про критичне число Рейнольдса і його вплив на зміну структури примежового шару.
- 5 Фізична сутність тертя в примежовому шарі. Формули розрахунку сил тертя при ламінарній і турбулентній структурі примежового шару.
- 6 Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі при дозвуковій швидкості.
- 7 Фізична сутність парадоксу Ейлера-Даламбера і обтікання циліндричних тіл потоком реальної рідини.
- 8 Поняття про в'язку кризу при обтіканні твердих тіл потоком.
- 9 Фізична сутність хвильового відриву в примежовому шарі при надзвуковій швидкості потоку.
- 10 Фізична сутність і види керування примежовим шаром.

### План заняття

- 1 Проведення усного опитування за лекціями теми 5.
- 2 Показ навчальних фільмів:
  - 2.1 Ефекти в'язкої рідини і газу. Фрагмент 6.: “Ламінарна і турбулентна течія. Примежовий шар” – (7.2.1.6) – 10 хв. 16 с.
  - 2.2 Ефекти в'язкої рідини і газу. Фрагмент 7.: “Керування примежовим шаром. Злітно-посадочна механізація крила” – (7.2.1.7) – 9 хв. 35 с.
- 3 Розв'язок типових задач.

### Рекомендована література

1.1. 45-55; 1.2. 175-180; 1.4. 22-30; 1.8. 58-62; 3.1; 3.2.

### 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 енергій-не 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.

### Практична частина заняття

Розв'язок типових задач за теоретичними матеріалами теми № 5.

### Список рекомендованої літератури

Основна література:

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



Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. - 333 с.: іл.

- 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолїт в особливій ситуації. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гїдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоттер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний

посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### **ТЕМА № 6: Стрибки ущільнення і характеристики розширення в газовому середовищі**

#### **Тема практичного заняття:**

- 1 Фізична сутність і причини зміни примежового шару.
- 2 Сутність в'язкої кризи, відриву потоку при дозвуковій швидкості і хвильового відриву в примежовому шарі.
- 3 Способи керування примежовим шаром.
- 4 Сутність виникнення і розповсюдження слабких і сильних збурювань в газовому середовищі.
- 5 Практичне використання рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі при розрахунку фізичних параметрів на стрибку.

#### **Навчальна мета заняття:**

- 1 Закріплення теоретичних знань про фізичну сутність і причини зміни примежового шару.
  - 2 Вивчення сутності відриву дозвукового потоку, хвильового відриву і в'язкої кризи в примежовому шарі.
  - 3 Розгляд сутності появи звукових хвиль, характеристик розширення і стрибків ущільнення.
  - 4 Практичне використання рівнянь Л. Ейлера і Д. Бернуллі з стисливістю.
- Кількість годин – 2.

**Навчальні питання:**

- 1 Сутність примежового шару, його визначення і характер зміни фізичних параметрів по товщині шару.
- 2 Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі при дозвуковій швидкості.
- 3 Поняття про в'язку кризу при обтіканні твердих циліндричних тіл потоком реальної рідини.
- 4 Фізична сутність хвильового відриву в примежовому шарі при надзвуковій швидкості потоку.
- 5 Фізична сутність і картина розповсюдження слабких збурювань при різних швидкостях руху джерела збурювання.
- 6 Виникнення і фізична сутність стрибків ущільнення, їх види і форми.
- 7 Фізична картина і особливості течії газового потоку навколо затуплених і ступінчатих циліндричних і конічних тіл.
- 8 Фізична сутність розповсюдження звукових ударних хвиль.

**План заняття**

- 1 Проведення усного опитування за лекціями тем 5 і 6.
- 2 Показ навчальних фільмів:
  - 2.1 Ефекти в'язкої рідини і газу. Фрагмент 6.: “Ламінарна і турбулентна течія. Примежовий шар” – 10 хв. 16 с.
  - 2.2 Ефекти в'язкої рідини і газу. Фрагмент 7.: “Керування примежовим шаром. Злітно-посадочна механізація крила” – 9 хв. 35 с.
  - 2.3 Ефекти стисливості газового середовища. Фрагмент 3.: “Розповсюдження збурювань в газовому середовищі” – 5.хв. 37 с.
  - 2.4 Ефекти стисливості газового середовища. Фрагмент 4.: “Стрибки ущільнення” – 3.хв. 8 с.
  - 2.5 Ефекти стисливості газового середовища. Фрагмент 5.: “Виникнення і розвиток стрибків ущільнення” – 9.хв. 12 с.
- 3 Розв'язок типових задач.
- 4 Виконання письмово контрольного експрес-завдання № 4 (30 хв).

**Рекомендована література**

- 1.1 30-55; 1.2. 141-180, 229-231; 1.3. 79-97; 1.4. 22-30, 123-133, 144-154, 191-208; 1.8. 41-6, 80-82; 3.1; 3.2.

## **Порядок проведення заняття**

### **Теоретична частина заняття**

1 Примежовий шар – це тонкий шар рідини (газу), що прилягає до поверхні обтікає-мого 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 наблюдається слоїста течія частинок по траєкторіям, форма яких близька до форми обтікає-мого 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.

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

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

2 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.

Кожна з виступаючих поверхонь тіла, що рухається в надзвуковому потоці є джерелом збурювання газового середовища. Слабкі збурювання виникають при обтіканні невеликих по об'єму твердих тіл, шорстких поверхонь, незначних зломів поверхні, а також під дією штучних звукових вібраторів. Слабкі збурювання розповсюджуються у вигляді сферичних хвиль стискання і розрідження, які розповсюджуються з швидкістю звуку. Сильні збурювання в газовому середовищі розповсюджуються у вигляді характеристик розширення або стрибків ущільнення.

При обтіканні твердих тіл надзвуковим потоком перед ним виникають звукові хвилі, які формують ударну хвилю. Поверхня, яка відокремлює збурюваний потік від незбурюваного називається фронтом уданої хвилі або стрибком ущільнення. Якщо кут нахилу стрибка ущільнення відносно вектора

невимушеного потоку менше  $90^\circ$ , то такий стрибок називається косим, а якщо кут нахилу рівняється  $90^\circ$ , то стрибок називається прямим. Вид скачка залежить від форми передньої частини обтікаємого тіла і величини числа Маха.

Особливостями газового потоку за криволінійною ударною хвилею є наявність змішаного потоку, який умовно розділяється на три зони: дозвукової швидкості, звукової і надзвукової.

При польоті літака з надзвуковою швидкістю на ньому виникає складна картина стрибків ущільнення і хвиль розширення, які виникають в місцях кріплення до фюзеляжу різних частин літака, зломах і нерівностей. Перша ударна хвиля виникає від носової частини літака і розповсюджується в умовах підвищеного тиску і температури. Тому швидкості розповсюдження збільшуються, вони доганяють попередні ударні хвилі і зливаються в одну потужну головну ударну хвилю. Зменшення тиску в хвостовій частині літака визиває зменшення масової густини і температури, а значить призводить до зменшення швидкості розповсюдження ударних хвиль, тому вони зливаються в потужну хвостову ударну хвилю.

### **Практична частина заняття**

Розв'язок типових задач за теоретичними матеріалами тем № 5 і 6.

#### **Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання**

- 1 Сутність примежового шару, його визначення і характер зміни фізичних параметрів по товщині шару.
- 2 Структура примежового шару, алгоритм розрахунку основних показників.
- 3 Умови зміни структури примежового шару, вплив умов обтікання на положення точки переходу ламінарного шару в турбулентний.
- 4 Поняття про критичне число Рейнольдса, його значення і вплив на характер течії в примежовому шарі.
- 5 Фізична сутність тертя в примежовому шарі. Формули розрахунку сил тертя при ламінарній і турбулентній структурі примежового шару.
- 6 Фізична сутність відриву потоку в примежовому шарі при дозвуковій швидкості.
- 7 Фізична сутність парадоксу Ейлера-Даламбера і обтікання потоком реальної рідини.
- 8 Поняття про в'язку кризу при обтіканні твердих тіл потоком.
- 9 Фізична сутність хвильового відриву в примежовому шарі при звукових швидкостях течії.

- 10 Фізична сутність і види керування примежовим шаром.
- 11 Практичне використання теорії примежового шару в аеродинаміці.
- 12 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в нерухомому середовищі і при русі з швидкістю рівною швидкості звуку.
- 13 Виникнення і розповсюдження слабих збурювань в рухомому середовищі при русі з швидкостями менше і більше швидкості звуку.
- 14 Виникнення і фізична сутність характеристик розширення потоку.
- 15 Фізична сутність виникнення стрибків ущільнення, їх види і форми.
- 16 Рівняння збереження маси на стрибку ущільнення.
- 17 Рівняння зміни кількості руху на стрибку ущільнення.
- 18 Зміна нормальної складової швидкості потоку на стрибку ущільнення.
- 19 Зміна щільності газового потоку на стрибку ущільнення.
- 20 Зміна тиску і температури газового потоку на стрибку ущільнення.
- 21 Принцип визначення числа Маха і швидкості при дозвукових і надзвукових швидкостях польоту.
- 22 Фізична картина і особливості обтікання затуплених і ступінчатих циліндричних і конічних тіл.
- 23 Фізична сутність виникнення і розповсюдження звукового удару.

#### Перелік задач до практичного заняття

1. Визначити відносну зміну масової густини нафти при її стисканні від  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  до  $p_2 = 1 \cdot 10^6$  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  $250 \text{ кГс/см}^2$  і масова густина. Коефіцієнт об'ємного стискання рівняється  $47,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кГс}$ , первинна масова густина -  $940 \text{ кг/м}^3$ .
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  $t_1 = + 20^\circ \text{ С}$  до  $t_2 = + 40^\circ \text{ С}$ . 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  $\beta_t = 0,00029 \text{ 1/}^\circ\text{К}$ .
5. Мінеральне мастило підводиться до гідродвигуна при температурі  $+ 30^\circ \text{ С}$  в кількості  $10 \text{ л/с}$ . За гідродвигуном температура масла рівняється  $+ 70^\circ \text{ С}$ . Яка кількість мастила зливається з гідродвигуна,

якщо його температурний коефіцієнт об'ємного розширення рівняється  $6,5 \cdot 10^{-4}$  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  $\nu$  і коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu$ .
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<sup>3</sup>**, 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 **М = 3 і 6**, якщо температура повітря в потоці складає **+ 30°C**.
13. Визначити критичні параметри набігаючого повітряного потоку: температуру, тиск і масову густину, якщо параметри незбуреного потоку складають: температура **+35°C**, тиск **25 кГс/см<sup>2</sup>**, масова густина **2,5 кг/м<sup>3</sup>**, розрахунок виконати за спрощеними формулами.
14. Визначити граничну швидкість збуреного повітряного потоку, якщо температура усталеного потоку рівняється **+30°C**, а температура невимушеного потоку складає **мінус 56°C**.

### Список рекомендованої літератури

#### Основна література:

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016. – 402 с.

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

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотiв вертольотiв. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довiдник по аеродинамiцi, динамiцi польоту вертольоту. Навчальний посiбник. – М.: Воєнвiдат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка i динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвiдат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПiА iм. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА i гiдравлiка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПiА iм. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Лiтальнi апарати i безпека польоту. Підручник. - М.: ВПiА iм. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотiв. Підручник. - М.: Транспорт, 1972.



– 184 с.

- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### **ТЕМА № 7: Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь**

#### **7.1 Тема практичного заняття:**

- 1 Вплив геометричних і кінематичних параметрів обтікання на аеродинамічні характеристики профілю крила.
- 2 Системи координат, що використовуються в аерогідрогазодинаміці. Повна аеродинамічна сила і результуючий аеродинамічний момент.
- 3 Діаграма розподілу нормального тиску по поверхні профілю, центр тиску, аеродинамічний фокус і парабола стійкості профілю крила.

**Навчальна мета заняття:**

1 Закріплення теоретичних знань щодо сутності впливу геометричних характеристик профілю і кінематичних параметрів потоку на аеродинамічні характеристики профілю.

2 Розкриття фізичної сутності виникнення повної аеродинамічної сили і результуючого аеродинамічного моменту.

3 Розкриття фізичної сутності центру тиску, аеродинамічного фокусу і параболі стійкості профіля крила.

Кількість годин – 2.

**Навчальні питання:**

- 1 Характеристика геометричних параметрів крила: подовження, звуження, кут стріловидності, кут поперечної “*V-подібності*”, кут установки перерізу крила.
- 2 Охарактеризувати поняття: геометрична, аеродинамічна і конічна крутки несучих поверхонь.
- 3 Характеристика основних системи координат, які використовуються в Аерогідрогазодинаміці, визначення кута атаки і кута ковзання.
- 4 Охарактеризувати розподіл нормального тиску по поверхні профілю і діаграма тиску по хорді профілю крила.
- 5 Поняття: аеродинамічного центру тиску і аеродинамічного фокусу.
- 6 Охарактеризувати сутність виникнення повної аеродинамічної сили і результуючого аеродинамічного моменту.
- 7 Поняття про середню аеродинамічну хорду крила і методику визначення місця її розташування на крилі та розміру.

**План заняття**

- 1 Проведення усного опитування по темі 7, за лекціями 7.1 і 7.2.
- 2 Розв’язок типових задач.
- 3 Показ навчальних фільмів:
  - 1.1 “Аеродинаміка крила. Фрагмент 8. Підйомна сила крила”.(2хв. 51с)
  - 1.2 “Аеродинаміка крила. Фрагмент 9. Вихрова система крила. Сучасні форми крила”. (5хв.48с)
- 4 Виконання письмового контрольного експрес-завдання № 5 (30 хв).
- 5 Доведення варіантів ІКЗ і завдань Курсової роботи.

### 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 матеріалом теми №7 за лекціями 7.1 і 7.2.

#### Практична частина заняття

Розв'язок типових задач за матеріалом лекцій 7.1 і 7.2.

#### Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання

- 1 Призначення і сутність несучих поверхонь ЛА, характеристика геометричних параметрів крила: подовження, звуження, кут стріловидності, кут поперечної “*V-подібності*”, кут установки перерізу крила.
- 2 Охарактеризувати поняття: геометрична, аеродинамічна і конічна крутки несучих поверхонь.
- 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 діаграм розподілу нормального тиску по поверхням профілю і епюри тиску по хорді профілю крила для різних значень кута атаки.
- 8 Розкрити поняття: аеродинамічний центр тиску, аеродинамічний фокус і парабола стійкості профіля крила.
- 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 результуючого аеродинамічного моменту, його проекції на вісі систем координат, їх назва і правило знаків.
- 13 Вплив геометричних параметрів профілю і параметрів потоку на протікання графіку залежності  $C_{ya}(\alpha)$ .

### Перелік задач до письмового контрольного експрес-завдання

1 Визначити середню аеродинамічну хорду крила, подовження, звуження і площу стріловидного крила ЛА, якщо координати правої консолі крила складають:  $x_1 = 0$ ,  $y_{1п} = 6$  м,  $y_{1з} = 2$  м;  $x_2 = 8$  м,  $y_{2п} = 3$  м,  $y_{2з} = 1$  м, а також товщину профілю в кінці крила, якщо погонна зміна товщини профілю по розмаху крила складає **20 мм/м**, а товщина профілю в кореновому перерізі рівняється **150 мм**.

2 Стріловидне крило має кореневу хорду **400 см**, кінцеву хорду **0,7 м**, розмах правої консолі складає **15 м**. Кут установки крила в кореновому перерізі складає  **$10^\circ$** , погонна зміна кута установки крила по розмаху складає **0,5 град/м**. Визначити подовження крила і кути установки в перерізах **5 і 10 м**.

3 Трикутне крило має кореневу хорду **4000 мм**, розмах правої консолі **900 см**. В кореновому перерізі відхилення носка профілю рівняється  **$0^\circ$** , погонне відхилення кута носка профілю по розмаху крила складає **1 град/м**. Визначити подовження крила, площу крила і кут відхилення носка профіля в перерізах **5, і 9 м**.

4 Визначити підйомну силу і силу лобового опору профіля крила, якщо результуюча аеродинамічна сила  **$R_a = 15$  Тс**, кут якості становить  **$\theta = 30^\circ$** . За визначеними підйомною силою  **$Y_a$**  і силою лобового  **$X_a$**  визначити нормальну  **$Y$**  і повздовжну сили  **$X$**  в зв'язаній системі координат, якщо кут атаки  **$\alpha = 10^\circ$** .

5 Визначити результуючу аеродинамічну силу  **$R_a$**  і аеродинамічні коефіцієнти підйомної сили і лобового опору, якщо підйомна сила рівняється **12 Тс**, а сила лобового опору **3 Тс**, площа крила рівняється **30 м<sup>2</sup>**, масова густина повітря рівняється **1,225 кг/м<sup>3</sup>**, швидкість повітряного потоку рівняється **720 км/год**.

6 Визначити повний аеродинамічний момент і коефіцієнти аеродинамічних моментів нахилу, ристання і тангажа, якщо момент тангажу рівняється **25 Тс м**, момент нахилу – **5 Тс м** і момент ристання – **10 Тс м**, розмах крила рівняється **40 м**, середня аеродинамічна хорда крила рівняється **2м**, швидкість повітряного потоку рівняється **680 км/год**, масова густина повітря рівняється **1,225 кг/м<sup>3</sup>**.

7 Визначити аеродинамічні коефіцієнти підйомної сили, сили лобового опору і аеродинамічну якість, якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється  **$C_{ya}^a = 4$** , кут атаки  **$\alpha = 0,176$  рад.**, первинний кут атаки  **$\alpha_0 =$  мінус **0,035 рад.**, коефіцієнт повздовжної сили рівняється **0,0025**.**

8 Визначити розмір швидкісного тиску повітряного потоку на висотах **1000 м** і **5 км**, якщо швидкість польоту літака рівняється **350 км/год.**, а також підйомну силу і силу лобового опору літака, якщо коефіцієнти підйомної сили і сили опору рівняються **1,2** і **0,25**, відповідно, площа крила рівняється **50 м<sup>2</sup>**.

9 Визначити швидкість польоту літака і швидкісний тиск, якщо число Маха на висоті **8 км** рівняється **0,65**, а також коефіцієнт підйомної сили, якщо підйомна сила рівняється **25 Тс**, а площа крила рівняється **36 м<sup>2</sup>**.

10 Визначити, як зміниться максимальна швидкість польоту літака при зміні температури повітря: від температури зимою **мінус 30°C** до температури літом **+30°C**, якщо максимальне число Маха рівняється **0,7**, а також визначити швидкісний тиск при температурі **мінус 30°C** при польоті на висоті **4000 м**.

11 Визначити швидкість польоту літака, швидкість звуку і швидкісний тиск, при польоті з числом Маха **0,6** на висоті **5 км**, а також підйомну силу крила, якщо коефіцієнт підйомної сили рівняється **0,9**, а площа крила – **60 м<sup>2</sup>**.

12 Визначити повну аеродинамічну силу, що діє на літак на висоті **4000 м**, якщо при числі Маха **0,6** коефіцієнт підйомної сили складає **0,75**, а коефіцієнт лобового опору – **0,15**, площа крила рівняється **105 м<sup>2</sup>**.

13 При куті атаки **15°** без ковзання коефіцієнти аеродинамічних сил рівняються: підйомної сили – **1,99**, а лобового опору – **0,465**. Визначити коефіцієнт аеродинамічної якості і коефіцієнти нормальної і повздовжньої сил в зв'язаній системі координат, а також розмір нормальної сили на висоті **1000 м** при швидкості **300 км/год** і площі несущої поверхні **70 м<sup>2</sup>**.

14 Визначити число Рейнольдса, число Маха і швидкісний тиск для крила нескінченного розмаху з хордою **300 см** при польоті на висоті **6000 м** і швидкості **540 км/год**. Згідно таблиці МСА на заданій висоті коефіцієнт динамічної в'язкості повітря рівняється  **$1,327 \cdot 10^{-5}$  Н\*с/м<sup>2</sup>**.

## 7.2 Тема практичного заняття:

1 Характеристика сили лобового опору, його складових частин і аналіз залежності їх від геометричних характеристик профілю і кінематичних параметрів обтікання.

2 Розгляд фізичної сутності впливу стисливості середовища на аеродинамічні характеристики профілю.

3 Характеристика залежності аеродинамічних коефіцієнтів підйомної сили і сили лобового опору від числа Маха.

4 Поняття про аеродинамічну якість і поляру I роду.

5 Поняття про підсмоктувальну силу профіля і поляру II роду.

**Навчальна мета заняття:**

1 Закріплення теоретичних знань щодо сутності лобового опору, його складових частин і впливу на них геометричних характеристик і кінематичних параметрів профілю.

2 Розкриття фізичної сутності впливу стисливості середовища на аеродинамічні характеристики профілю.

3 Аналіз графічних залежностей аеродинамічних коефіцієнтів підйомної сили і сили лобового опору від числа Маха.

4 Розкриття фізичної сутності аеродинамічної якості, поляр I і II роду, особливості їх побудови.

Кількість годин – 2.

**Навчальні питання:**

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

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

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

4 Сутність хвильового опору, залежність його від числа Маха.

5 Характеристика залежності коефіцієнта лобового опору від кута атаки в швидкісній і зв'язаній системах координат, сутність підсмоктувальної сили.

6 Характеристика залежності аеродинамічного коефіцієнта підйомної сили від числа Маха.

7 Поняття про аеродинамічну якість профілю і її залежність від кута атаки.

8 Поняття про полярну діаграму I роду і особливості її побудови.

9 Вплив стисливості середовища на полярну і аеродинамічну якість профілю крила.

10 Поняття про підсмоктувальну силу профілю крила і фізичну сутність її виникнення.

11 Полярна діаграма II роду і особливості її побудови.

**План заняття**

1 Проведення усного опитування по темі № 7, за лекціями 7.3 - 7.5.

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 Виконання письмового контрольного експрес-завдання № 6 (30 хв).

### **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 матеріалом теми №7 за лекціями 7.3 і 7.5.

#### **Практична частина заняття**

Розв’язок типових задач за матеріалом лекцій 7.3 і 7.5.

#### **Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання**

- 1 Загальна характеристика сили лобового опору, сутність профільного опору.
- 2 Опір тиску, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила.
- 3 Опір тертя, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила.
- 4 Сутність індуктивного опору, вплив на його розмір кінематичних і геометричних параметрів профілю крила.
- 5 Сутність хвильового опору, залежність його від числа Маха.
- 6 Характеристика залежності коефіцієнта лобового опору від кута атаки в швидкісній і зв’язаній системах координат, сутність підсмоктувальної сили.
- 7 Сутність впливу стисливості середовища на аеродинамічні характеристики профіля.
- 8 Характеристика залежності коефіцієнта піднімальної сили від числа Маха.
- 9 Характеристика залежності коефіцієнта сили лобового опору від числа Маха.
- 10 Вплив геометричних параметрів крила на характер протікання залежностей коефіцієнтів піднімальної сили і сили лобового опору від числа Маха.

- 11 Поняття про аеродинамічну якість профілю і її залежність від кута атаки.
- 12 Поняття про полярну діаграму I роду і особливості її побудови.
- 13 Вплив стисливості середовища на полярну і аеродинамічну якість профілю крила.
- 14 Поняття про підсмоктувальну силу профілю крила і фізичну сутність її виникнення.
- 15 Полярна діаграма II роду і особливості її побудови.

### Перелік задач до практичного заняття

- 1 Визначити коефіцієнт опору тиску і силу опору тиску, якщо відносний тиск перед профілем рівняється **0,015**, а за профілем – **0,007**, площа міделевого перерізу складає **1,5 м<sup>2</sup>**, площа поверхні профілю – **2 м<sup>2</sup>**, швидкість повітряного потоку **360 км/год**, площа крила рівняється **40 м<sup>2</sup>**, висота польоту – **1000 м**.
- 2 Визначити коефіцієнт опору тертя і силу опору тертя, якщо число Рейнольдса рівняється **2300**, площа поверхні плоскої пластини – **0,5 м<sup>2</sup>**, площі поверхні профіля **1,0 м<sup>2</sup>**, площа крила **40 м<sup>2</sup>**, 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 **120 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<sup>2</sup>**, 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<sup>2</sup>**, 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<sup>2</sup>**.
- 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  $H = 0 \text{ м}$ , при швидкості  $V = 500 \text{ км/год}$  і площі несучої поверхні  $S = 88 \text{ м}^2$ .
- 10 Визначити швидкість і швидкісний тиск над профілем крила і під ним, якщо швидкість невимушеного потоку рівняється  $V = 300 \text{ км/год}$  на висоті польоту **1000 м**, площа перерізу потоку перед профілем рівняється  $S = 250 \text{ мм}^2$ , 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 висоті  $H = 10000 \text{ м}$ .
- 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  $V = 880 \text{ км/год}$ . Коефіцієнт кінематичної в'язкості складає  $\nu_n = 32 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$ , хорда крила  $b = 2 \text{ м}$ .
- 14 Коефіцієнт лобового опору літака при виготовленні складав  $C_{xa,1} = 0,019$ . 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  $H = 6000 \text{ м}$  при швидкості  $V = 648 \text{ км/год}$ , площа крила  $S = 140 \text{ м}^2$ .
- 15 В польоті літака з кутом атаки крила  $\alpha = 0,07 \text{ рад}$ , коефіцієнт підйомної сили  $C_{ya} = 0,6$ . Визначити кут атаки нульової підйомної сили  $\alpha_0$ , 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  $S = 10 \text{ м}^2$  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  $\alpha_0$ .
- 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 висоті  $H = 8000$  м.
- 18 Визначити мінімальну посадкову швидкість літака посадковою вагою  $100Tc$ , якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється  $C_{ya}^\alpha = 4,8$ , критичний кут атаки  $\alpha_{кр} = 15^\circ$ , кут атаки при нульовій підйомній силі  $\alpha_0 = \text{мінус } 2^\circ$ , висота знаходження аеродрому  $H = 1000$  м, площа крила складає  $320 \text{ м}^2$ .
- 19 Визначити максимальну посадкову вагу літака на аеродромі, що знаходиться на висоті  $1500$  м, якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється  $C_{ya}^\alpha = 5,4$ , критичний кут атаки  $\alpha_{кр} = 20^\circ$ , кут атаки при нульовій підйомній силі  $\alpha_0 = \text{мінус } 4^\circ$ , площа крила рівняється , посадкова швидкість  $V = 200$  км/год.

### Список рекомендованої літератури

#### Основна література:

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

Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. - 333 с.: іл.

- 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливій ситуації. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гiдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972.– 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокopter, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КПЦА, 1976. – 100 с.

### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

## **ТЕМА № 8: Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту**

### **8.1 Тема практичного заняття:**

- 1 Геометричні характеристики, кінематичні параметри і основні режими роботи несучого гвинта.
- 2 Загальні поняття про імпульсну і вихрову теорії розрахунку тяги НГ вертольоту.
- 3 Залежність сили тяги і моменту лобового опору несучого гвинта вертольоту від режимів обтікання і кінематичних параметрів.
- 4 Характеристика сил і моментів, що діють на лопаті НГ.
- 5 Аналіз динаміки лопаті в площинах тяги і обертання НГ.

### **Навчальна мета заняття:**

- 1 Засвоєння понять і визначень геометричних характеристик і кінематичних параметрів НГ вертольоту.
- 2 Розкриття фізичної сутності основних режимів роботи НГ: при вертикальних переміщеннях і на режимах горизонтального польоту.
- 3 Ознайомлення з імпульсною і вихровою теоріями розрахунку тяги НГ вертольоту.
- 4 Розгляд фізичної сутності виникнення сил і моментів, що діють на лопаті НГ.
- 5 Характеристика динаміки поведінки лопаті в площинах тяги і обертання НГ.

Кількість годин – 2.

**Навчальні питання:**

- 1 Основні геометричні характеристик і кінематичні параметри НГ, їх визначення і вплив на аеродинамічні характеристики НГ.
- 2 Геометричні і кінематичні параметри лопатей НГ, їх характеристика і вплив на аеродинамічні характеристики лопаті.
- 3 Характеристика обтікання лопатей НГ на режимах висіння і вертикальних переміщень.
- 4 Особливості обтікання лопатей НГ на режимах горизонтального польоту.
- 5 Сутність імпульсної теорії розрахунку тяги НГ і індуктивних швидкостей.
- 6 Основні режими роботи НГ при вертикальних переміщеннях.
- 7 Фізична сутність режиму косого обтікання НГ, визначення індуктивної швидкості і тяги несучого гвинта. Навести і охарактеризувати сили і моменти, що діють на елементи лопатей НГ.
- 8 Розкрити поняття про махові рухи лопаті НГ і навести основні сили, що діють в площині тяги НГ.
- 9 Охарактеризувати залежність кута злету лопатей відносно ГШ по азимутам від середнього кута конусності та кутів відхилення аеродинамічної вісі в повздовжньому і поперечному напрямках.
- 10 Охарактеризувати динаміку зміни основних кінематичних параметрів лопатей по азимутам.
- 11 Охарактеризувати закономірності зміни кінематичних параметрів від махового руху лопатей і завалу конуса обертання НГ.
- 12 Охарактеризувати динаміку лопатей в площині обертання НГ і основні закономірності качання лопатей відносно ВШ.

**План заняття**

- 1 Проведення усного опитування по темі № 8, за лекціями 8.1 - 8.3.
- 2 Розв'язок типових задач.
- 3 Показ навчального фільму:
  - 3.1 "Вертоліт повітряний всюдихід" (50хв)
  - 3.2 Тайни забутих перемог. Легенди російської авіації - розвиток вітчизняних вертольотів" (50хв.)
- 4 Виконання письмового контрольного експрес-завдання № 7 (30 хв.).

**Рекомендована література**

- 1.5. 16-23; 23-29; 1.7. 29-39; 1.8. 97-116; 2.5. 95-116; 121-125; 141-149; 2.6. 5-42

## **Порядок проведення заняття**

### **Теоретична частина заняття**

Розгляд теоретичних питань за матеріалом теми № 8 за лекціями 8.1...8.3.

### **Практична частина заняття**

Розв'язок типових задач за матеріалом лекцій 8.1...8.3.

#### **Перелік питань до письмового контрольного експрес-завдання**

- 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.

### Перелік задач до письмового контрольного експрес-завдання

- 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 **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°**, 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 **AK1-3** складає **150 км/год**, азимут лопаті **90°**, кут атаки НГ рівняється **5°**, в перерізі поточного радіусу лопаті **150 см** кут взмаху лопаті - **3°**, 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°**, обороти НГ рівняються **248 об/хв**, кут установки лопаті у комля - **7°**, погонна зміна кута установки по радіусу лопаті рівняється **0,5 град/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 **AK1-3**, 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°** в азимуті лопаті **180°**, індуктивна швидкість відкидання маси повітря – **6м/с**, кут взмаху лопаті – **6°**, швидкість кута взмаху лопаті **0,1 1/с**, кут установки в перерізі рівняється **5°**.

## Список рекомендованої літератури

### Основна література:

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

### Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотiв вертольотiв. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довiдник по аеродинамiцi, динамiцi польоту вертольоту. Навчальний посiбник. – М.: Воєнвiдат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка i динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвiдат, 1973. – 446 с.



- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гідравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972.– 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КПЦА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

## 8.2 Тема заняття:

1 Залежність сили тяги і моменту лобового опору несучого гвинта вертольоту від режимів обтікання і кінематичних параметрів.

2 Фізична сутність особливих режимів роботи НГ:

2.1 Флатер;

- 2.2 Земний резонанс;
- 2.3 Режим авторотації.

### **Мета заняття:**

1 Закріплення теоретичних знань щодо впливу кінематичних параметрів і режимів польоту вертольоту на розмір тяги і лобового опору НГ.

2 Розкриття фізичної сутності особливих режимів роботи НГ:

- 2.1 Флатера;
- 2.2 Земного резонансу;
- 2.3 Режиму авторотації.

Кількість годин – 2.

### **Навчальні питання:**

- 1 Навести і охарактеризувати сили і моменти, що діють на елементи лопатей НГ.
- 2 Розкрити поняття про махові рухи лопаті НГ і навести основні сили, що діють в площині тяги НГ.
- 3 Охарактеризувати залежність кута злету лопатей відносно ГШ по азимутам від середнього кута конусності та кутів відхилення аеродинамічної вісі в повздожному і поперечному напрямках.
- 4 Охарактеризувати динаміку зміни основних кінематичних параметрів лопатей по азимутам.
- 5 Охарактеризувати закономірності зміни кінематичних параметрів від махового руху лопатей і завалу конуса обертання НГ.
- 6 Охарактеризувати динаміку лопатей в площині обертання НГ і основні закономірності качання лопатей відносно ВШ.
- 7 Розкрити поняття про ідеальний і реальний НГ, вплив коефіцієнтів корисної дії і використання площі НГ на витрати НГ.
- 8 Оцінка ефективності роботи НГ з допомогою коефіцієнтів корисної дії НГ.
- 9 Поняття про потужність ідеального і реального НГ.
- 10 Охарактеризувати момент опору НГ на вертикальних режимах обтікання.
- 11 Охарактеризувати момент опору НГ на режимах косого обтікання.
- 12 Поняття про наявну потужність двигунів вертольоту і її розподіл на вертольоті.
- 13 Охарактеризувати залежність наявної потужності двигунів від швидкості польоту.

- 14 Розкрити загальні поняття про пружність лопатей НГ і її вплив на безпеку експлуатації вертольоту.
- 15 Розкрити фізичну сутність, умови виникнення і ознаки прояву флаттера лопатей НГ.
- 16 Розкрити фізичну сутність, умови виникнення і ознаки прояву “земного резонансу” НГ.
- 17 Розкрити фізичну сутність, умови виникнення і ознаки прояву «вихрового кільця» НГ.
- 18 Охарактеризувати динамічну міцність лопатей НГ і фактори, що впливають на її динамічну напругу.
- 19 Охарактеризувати умови взаємоудару комлевих частин лопатей по упорах ГШ і ВШ.

### **План заняття**

- 1 Проведення усного опитування по темі № 8, за лекціями 8.3...8.5.
- 2 Розв’язок типових задач.
- 3 Показ навчальних фільмів:
  - 3.1 "Тайни забутих перемог. Легенди російської авіації - розвиток вітчизняних вертольотів"
- 4 Обговорення результатів виконання курсової роботи (20 хв).

### **Рекомендована література**

- 1.5. 16-29; 1.7. 29-39; 1.8. 97-116; 2.5. 95-116; 121-125; 141-149; 2.6. 5-42; 3.1; 3.2.

### **Порядок проведення заняття**

#### **Теоретична частина заняття**

Розгляд теоретичних питань за матеріалом теми № 8 за лекціями 8.3...8.5.

#### **Практична частина заняття**

Розв’язок типових задач за матеріалом лекцій 8.3...8.5.

### **Список рекомендованої літератури**

#### **Основна література:**

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

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотiв вертольотiв. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довiдник по аеродинамiцi, динамiцi польоту вертольоту. Навчальний посiбник. – М.: Воєнвiдат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка i динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвiдат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА i гiдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1972.– 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати i безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотiв. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.

- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### **ТЕМА № 9: Особливості аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів**

#### **Тема практичного заняття:**

- 1 Проведення підсумкової контрольної роботи за змістом і матеріалом тем 7...9.

#### **Навчальна мета заняття:**

- 1 За результатами підсумкової контрольної роботи оцінити рівень засвоєння знань і навичок основ аеродинаміки літака і НГ вертольоту.
- 2 **Аналіз** особливостей аеродинаміки гіперзвукових потоків і розріджених газів.

Кількість годин – 2.

**Навчальні питання:**

- 1 Охарактеризувати поняття: геометрична, аеродинамічна і конічна скрутки несучих поверхонь.
- 2 Охарактеризувати основні геометричні параметри профілю несучих поверхонь: хорда, товщина, кривизна, середня лінія профілю, відносні координати максимальної товщини і кривизни профілю.
- 3 Дати визначення середньої аеродинамічної хорди крила і її сутності, охарактеризувати геометричний метод визначення місця розташування і розміру САХ.
- 4 Охарактеризувати основні системи координат, які використовуються в Аерогідрогазодинаміці, дати визначення кута атаки і кута ковзання.
- 5 Побудувати схеми діаграм розподілу тиску по поверхням профілю і епюри тиску по хорді профілю для різних значень кута атаки.
- 6 Розкрити поняття: аеродинамічний центр тиску, парабола стійкості і аеродинамічний фокус.
- 7 Сутність виникнення результуючої (повної) аеродинамічної сили і вплив на її розмір і просторове положення геометричних, кінематичних і фізичних параметрів.
- 8 Проекції результуючої аеродинамічної сили на вісі швидкісної і зв'язаної систем координат, охарактеризувати назву її складових.
- 9 Навести просторову схему швидкісної і зв'язаної систем координат і алгоритм перерахунку проекцій повної аеродинамічної сили з швидкісної на зв'язану систему координат і навпаки.
- 10 Сутність виникнення і просторового положення повного аеродинамічного моменту, його проекції на вісі систем координат, їх назва і правило знаків.

**Питання за лекціями - 7.3 і 7.4**

- 1 Поняття про лобовий опір, його сутність, причини виникнення і складові час-тини.
- 2 Профільний опір, його фізична сутність, складові частини, вплив геометричних і кінематичних параметрів на його розмір і характер зміни.
- 3 Опір тертя, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила.
- 4 Опір тиску, його сутність і вплив на його розмір геометричних і кінематичних параметрів профілю крила.
- 5 Сутність індуктивного опору, вплив на його розмір кінематичних і геометричних параметрів профілю крила.

- 6 Сутність відсмоктувальної сили профілю і її вплив на графічну залежність  $C_x = f(\alpha)$ .
- 7 Фізична сутність хвильового опору, вплив стисливості середовища, його залежність від числа Маха.
- 8 Характеристика залежності коефіцієнта лобового опору від кута атаки в швидкісній і зв'язаній системах координат.
- 9 Охарактеризувати залежність коефіцієнта піднімальної сили від числа Маха, визначити характерні ділянки на графіку.
- 10 Охарактеризувати залежність коефіцієнта сили лобового опору від числа Маха, визначити характерні ділянки на графіку.

#### Питання за лекціями 7.5 і 7.6

- 1 Сутність аеродинамічної якості крила, її залежність від кута атаки, характерні ділянки на графіку залежності  $K = f(\alpha)$ .
- 2 Характеристика полярної діаграми I роду, особливості її побудови і практично-го використання, характерні ділянки на графіку залежності  $C_{ya} = f(C_{xa})$ .
- 3 Характеристика впливу стисливості повітря на аеродинамічну якість і полярну I роду  $C_{ya} = f(C_{xa}, M)$ .
- 4 Сутність полярної діаграми II роду, особливості її побудови, характеристика ділянок на графіку.
- 5 Характеристика аеродинамічного моменту тангажу і його залежність  $m_{za} = f(\alpha)$ .
- 6 Шляхи і способи підвищення несучих властивостей крила.
- 7 Характеристика елементів механізації крила: щитків і закрилків їх вплив на протікання залежностей аеродинамічних характеристик від кута атаки.
- 8 Характеристика елементів механізації крила: передкрилків і відхиляємих носків та носових щитків.
- 9 Характеристика елементів механізації крила: гальмівних щитків, інтерцепторів та елеронів.
- 10 Характеристика елементів механізації крила: аеродинамічних перегородок, запилів та турбулізаторів.

#### Питання за лекціями 8.1...8.5

- 1 Призначення, види, класифікація і основні конструктивні елементи НГ.
- 2 Геометричні параметри і характеристики НГ.

- 3 Особливості обтікання НГ на режимах висіння і вертикальних переміщень.
- 4 Особливості обтікання НГ на режимах горизонтального польоту.
- 5 Сутність імпульсної теорії визначення тяги НГ.
- 6 Визначення індуктивних швидкостей НГ і тяги на режимах вертикального переміщення.
- 7 Фізична сутність режимів роботи НГ при зміні вертикальних швидкостей зниження вертольоту.
- 8 Характеристика сил і моментів, що діють на лопаті НГ вертольоту.
- 9 Характеристика махових рухів лопаті в площині тяги НГ.
- 10 Фізична сутність флатеру лопатей і конструктивні заходи щодо його усунення.

### **План заняття**

- 1 Проведення підсумкової контрольної роботи за темами № 7...9.
- 2 Розв'язок типових задач.

### **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; 116-142; 192-201; 2.5. 116-141; 3.1; 3.2.

### **Список рекомендованої літератури**

#### **Основна література:**

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина 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 заг. редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
- 4 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина 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.

Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолїт в особливій ситуації. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гідравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972.– 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокотер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний

посібник - К.: КІЩА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### 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 проєкціях 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.

### Список рекомендованої літератури

#### Основна література:

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016. – 402 с.: іл.
- 3 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за заг. редакцією В. М. Костенка та І.

Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.

- 4 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
- 5 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
- 6 Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. -333 с.: іл.
- 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

#### Допоміжна література:

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.–208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливій ситуації. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гiдравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.

- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КПЦА, 1976. – 100 с.

Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати гвинтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976..