

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

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

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

за ТЕМОЮ 7- Аеродинамічні характеристики профілю і несучих
поверхонь літальних апаратів

Вінниця 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

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

ПОГОДЖЕНО

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

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

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

Рецензенти:

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

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

ЛЕКЦІЯ 7.5: Індуктивний і хвильовий опір, їх фізична сутність

План лекції:

- 1 Індуктивний опір і його фізична сутність.
- 2 Хвильовий опір і його фізична сутність.

Рекомендована література:

Основна:

1. Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
2. Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016.–402 с.: іл.
3. Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за загальною редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
4. Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
5. Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
6. Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. -333 с.: іл.
7. Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.
8. Тягній В. Г., Ємець В. В., Основи аеродинаміки та динаміки польоту, частина I, Аерогідрогазодинаміка. Навчальний посібник, КЛК ХНУВС, 2022. – 384 с.

Допоміжна:

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

Інформаційні ресурси

Інформаційні ресурси в Інтернеті

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

Технічні засоби

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

Наочні посібники

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

Текст лекції

ЛЕКЦІЯ 7.5: ІНДУКТИВНИЙ І ХВИЛЬОВИЙ ОПІР, ЇХ ФІЗИЧНА СУТНІСТЬ

План лекції:

7.5.1 Індуктивний опір і його фізична сутність

7.5.2 Хвильовий опір і його фізична сутність.

7.5.2 Хвильовий опір і його фізична сутність

При збільшенні швидкості незбуреного повітряного потоку $M_\infty > M_{кр}$ картина обтікання профілю суттєво змінюється, виникають надзвукові зони потоків і стрибком ущільнення.

Надзвукова зона обтікання замикається стрибком ущільнення, виникнення якого пояснюється гальмуванням надзвукового потоку. Швидкість потоку перед профілем менше швидкості звуку $M < 1$ ($V < a$), тому після надзвукової зони вона також буде менше швидкості звуку (рис 7.5.8 і 7.5.9).

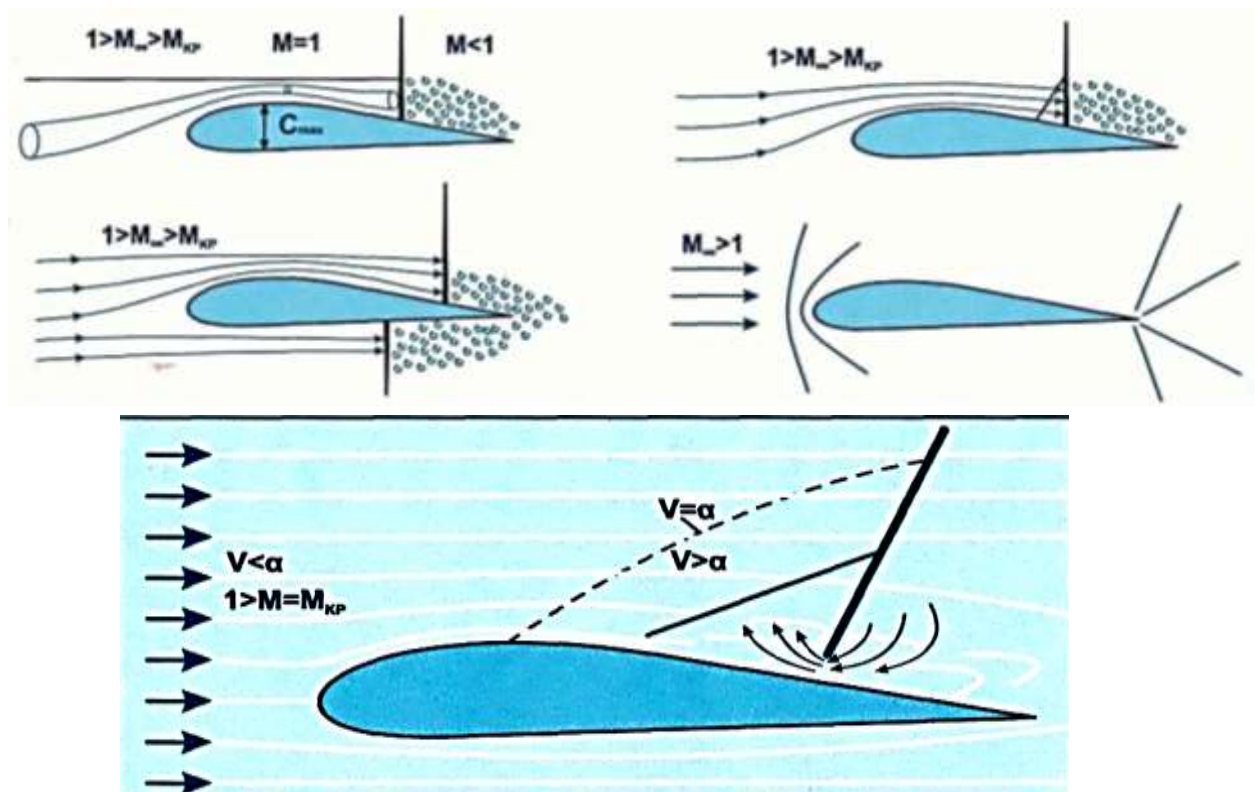


Рис 7.5.8 Схема виникнення місцевого стрибка ущільнення

Перехід надзвукової течії в дозвукову завжди відбувається на стрибку ущільнення. Зі збільшенням $\uparrow M_\infty$ надзвукові зони розширюються і скачки ущільнення зміщуються назад (рис 7.5.8 і 7.5.9).

При подальшому збільшенні числа Маха стрибок ущільнення виникає і на нижній поверхні профілю крила.

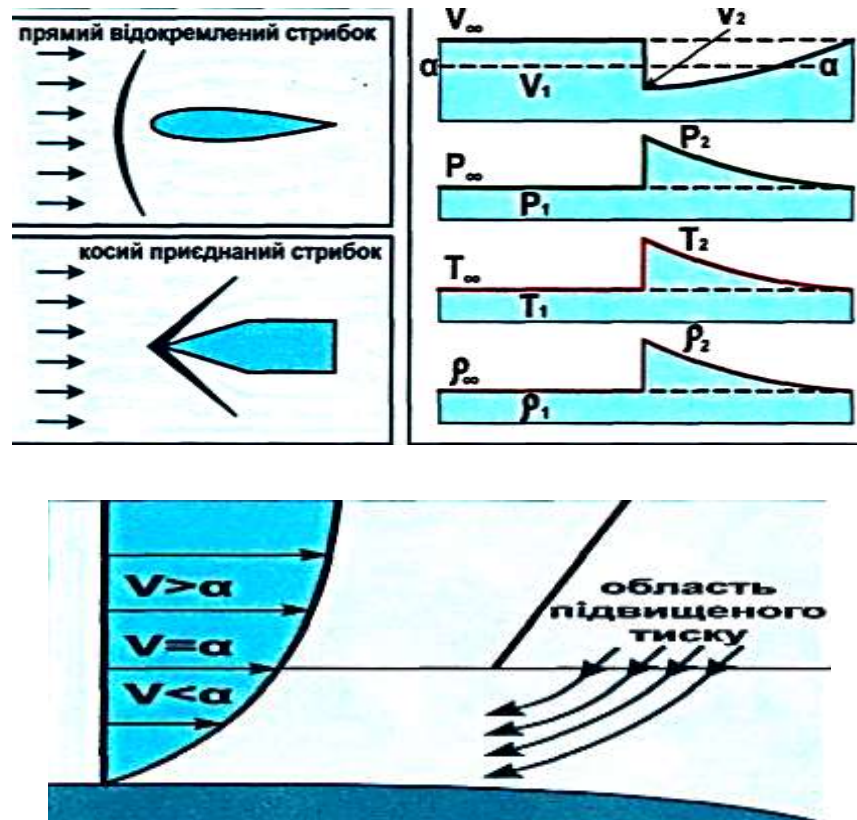


Рис 7.5.9 Схема зміни параметрів повітря на стрибку ущільнення і товщині примежового шару

При подальшому збільшенні числа Маха $M > M_{кр}$ відбувається зміщення стрибків ущільнення і на нижній поверхні профілю скачок досягає задньої кромки профілю, при цьому зона розрідження охоплюють всю поверхню профілю, стрибки ущільнення, які замикають надзвукові зони $M_{кр} < M_\infty < 1$, називаються місцевими стрибками ущільнення.

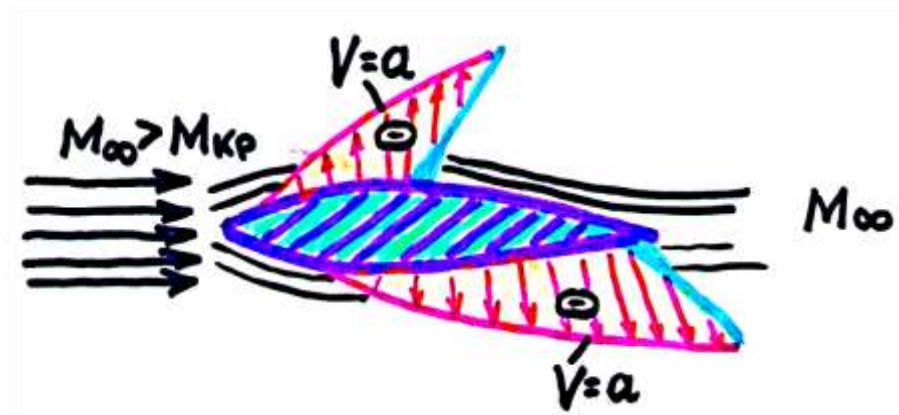


Рис 7.5.10 Схема розвитку надзвукових зон обтікання на поверхні профілю

Виникнення стрибків ущільнення при $M_\infty > M_{кр}$ призводить до істотної зміни розподілу тиску і виникненню додаткового опору, який називається хвильовим. За своєю сутністю хвильовий опір є опором тиску при надзвукових швидкостях обтікання профілю.

Максимального значення хвильовий опір досягає в залежності від форми профілю при $M_\infty = 1,05$

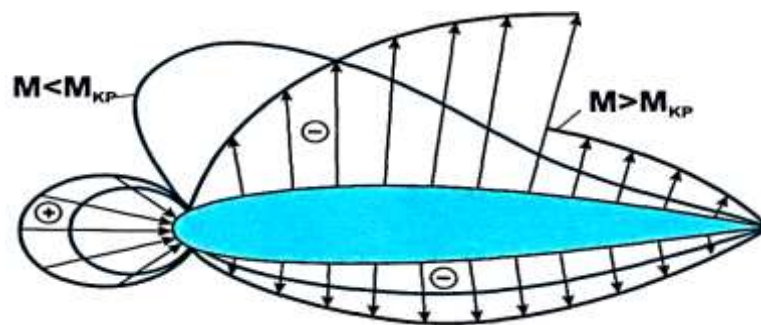


Рис 7.5.11 Схема розвитку надзвукових зон обтікання на поверхні профілю при збільшенні швидкості потоку $M_\infty > M_{кр}$

Коефіцієнт лобового опору при $M_{кр} = M_\infty$ дорівнює:

$$C_{xa} = C_{xo} + C_{xa,i}, \quad \text{где } C_{xo} = C_{xa,дав.} + C_{xa,тр} + C_{xa,вол}$$

де, C_{xo} - не залежить від підйомної сили і складається з опору тиску, тертя і хвильового опору.

Коефіцієнт хвильового опору можна визначити за формулою:

$$C_{xa,вол} = B(M_\infty - M_{кр})^3$$

де

B - коефіцієнт, який залежить від форми профілю крила (для дозвукових профілів $B = 11$).

Дана формула використовується для визначення хвильового опору для діапазону швидкостей:

$$M_{\infty} = M_{кр} + 0,15$$

3 Задачі: 7.5.3:

- 1) Визначити аеродинамічний 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 м²**.
- 2) Визначити підйомну силу, силу лобового опору і результуючу аеродинамічну силу при польоті з швидкістю при числі Маха **$M = 0,5$** на висоті **$H = 2000$ м**, якщо аеродинамічні коефіцієнти **$C_{ya} = 0,8$** і **$C_{xa} = 0,005 + 0,3C_{ya}$** , площа крила **$S = 50$ м²**.
- 3) Коефіцієнт лобового опору літака при виготовленні на заводі складає **$C_{xa1} = 0,019$** . В процесі експлуатації і ремонту літака коефіцієнт опору збільшився до **$C_{xa2} = 0,024$** . Визначити на скільки збільшилась сила лобового опору літака в польоті на висоті **$H = 6000$ м** при швидкості **$V = 640$ км/год**, площа крила **$S = 140$ м²**.