

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 2- Основи кінематики і динаміки рідини і газів

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 2.2: Теоретичні моделі моделювання обтікання тіл. Фізична картина обтікання тіл рідиною і газом

План лекції:

- 1 Теоретичні моделі моделювання обтікання тіл потоком рідини і газу.
- 2 Фізична картина обтікання твердих тіл потоком рідини і газу.

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 2.2: ТЕОРЕТИЧНІ МОДЕЛІ МОДЕЛЮВАННЯ ОБТІКАННЯ ТІЛ. ФІЗИЧНА КАРТИНА ОБТІКАННЯ ТІЛ РІДИНОЮ І ГАЗОМ

План лекції:

2.2.1 Теоретичні моделі моделювання обтікання тіл потоком рідини і газу

2.2.2 Фізична картина обтікання твердих тіл потоком рідини і газу

2.2.1 Теоретичні моделі моделювання обтікання тіл потоком рідини і газу

Реальні явища природи дуже складні і недоступні для суворого теоретичного аналізу. Тому для побудови теорії того чи іншого явища доводиться схематизувати дійсність і брати в якості об'єкта вивчення не реальне явище, а його спрощене фізичну модель. У теоретичній аеродинаміці на протязі її розвитку було прийнято цілий ряд моделей обтікання твердих тіл потоком повітря.

1 Перша модель (Модель корпускулярного будови середовища) була запропонована І. Ньютоном (рис 2.2.1). При даній моделі рідина розглядається як середовище, що складається з окремих не пов'язаних між собою частинок - корпускул, які при взаємодії з тілом повністю втрачають свою кінетичну енергію, прилипають до нього і віддають тілу енергію у вигляді потенційної енергії сил тиску, інші частинки проходять повз обтічного тіла і утворюють застійну зону, в якій швидкості частинок дорівнюють нулю.

Перша модель - корпускулярна модель І. Ньютона

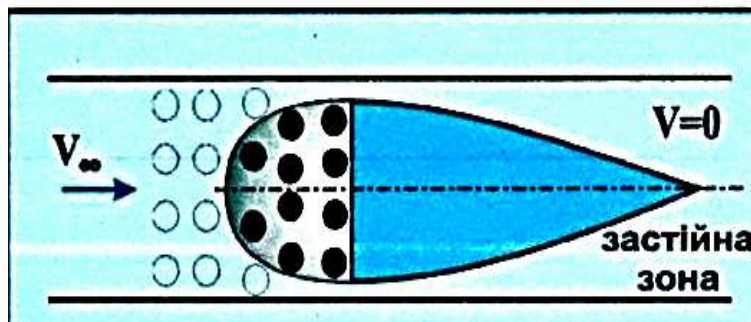


Рис 2.2.1 Схема корпускулярної моделі обтікання

Дана модель має великий недолік, тому що не розглядає обтікання тіл і допускає велику похибку при розрахунку сили опору в повітряному потоці великої

щільності. Вона може бути застосована при розгляді явищ обтікання твердих тіл в розрідженому середовищі.

2 Друга модель- модель ідеальної рідини. При даній моделі, рідина протікає тверде тіло, вважається суцільним середовищем, позбавленою властивостей в'язкості і стисливості. Математичне дослідження цієї моделі призвело до складання 3-х диференціальних рівнянь руху рідини, вирішення яких дає можливість визначення швидкостей (V) і тисків (p) в будь-якій точці потоку, що обтікає тіла. Модель була розроблена Л. Ейлером і в подальшому була вдосконалена російським ученим М. Є. Жуковським.

Друга модель - модель «ідеальної рідини»:
суцільне середовище, не в'язке і не
стисливе - модель Л. Ейлера

$$\begin{aligned}\frac{dv}{dt} &= -g(n_{x,a} + \sin\theta); \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{g}{V \cdot \cos\beta} (n_{y,a} - \cos\theta \cdot \cos\gamma) - \operatorname{tg}\beta (\sin\alpha_n \cdot \omega_y - \omega_x); \\ \frac{d\beta}{dt} &= \frac{g}{V} (n_{z,a} + \cos\theta \cdot \sin\gamma) + \sin\alpha_n \cdot \omega_x + \omega_y\end{aligned}$$

3 Третя модель- модель стисливої рідини, яка розроблена російським вченим С. А. Чаплигиним. На базі цієї моделі була створена наукова школа газової динаміки, що вивчає закони руху тіл у повітрі і газах з великими швидкостями і при високих температурах, при яких необхідно враховувати стисливість.

Третя модель - модель стисливої рідини - модель
С.А. Чаплигіна. Газова динаміка: рух
газу з великими швидкостями і при
високих температурах

$$M = \frac{v}{a}, a = \sqrt{kRT}$$

4 Четверта модель- модель в'язкої рідини. Дана модель запропонована Л. Прандтлем, який розробив теорію прилежого шару і розкрив причину виникнення сили тертя, викликаної властивістю в'язкості (рис 2.2.2).

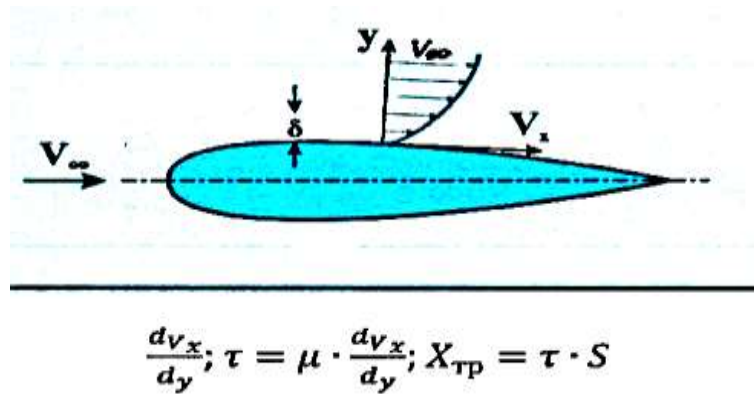


Рис 2.2.2 Схема обтікання вязкою рідиною

5 П'ята модель- модель плазмового стану середовища, який виникає навколо тіла, що рухається з гіперзвуковою швидкістю. Плазма є середовищем, що складається з суміші електрично заряджених і нейтральних частинок. Серед подібних плазмі має місце при вході космічних об'єктів в щільні шари атмосфери землі.

**• модель плазменого середовища •
високотемпературне газове
середовище, яке складається із
суміші електрзаряджених і
нейтральних частинок**

2.2.2 Фізична картина обтікання твердих тіл потоком рідини і газу

Картину, яка показує розподіл траєкторій повітряних струйок потоку навколо обтікаємого тіла називають спектром обтікання цього тіла (рис 2.2.3). Щоб отримати спектри дослідним шляхом, необхідно зробити видимим рух частинок потоку. Це можна досягти введенням в потік струєк диму, тонких ниток або шелковинок.

Якщо траєкторії частинок є плоскими кривими, то такий потік називається плоскопаралельним. Якщо траєкторії частинок мають переміщення по 3-м взаємно перпендікулярним напрямкам то такий потік називають просторовим.

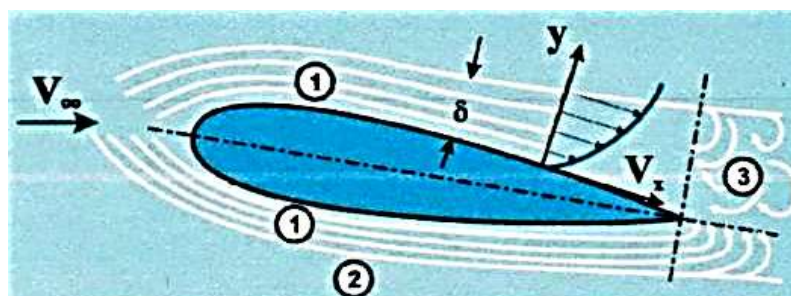


Рис 2.2.3 Схема спектра течії потоку навколо твердого тіла

- 1 **Тонкий шар**, Що прилягає до обтекаємому тілу, називається примежовим шаром. У ньому мають місце великі градієнти швидкості $\frac{dv_x}{dy}$ по товщині шару, істотно проявляються властивості в'язкості, виникає ковзна напруга і як наслідок сили тертя.
- 2 **Течії поза примежовим шаром**. Градієнти швидкості в цій зоні незначні, в'язкість слабка, сили тертя невеликі. Для спрощення досліджень за межами примежового шару середовище вважається ідеальним.
- 3 **Спутний слід** - це частина повітряного потоку, що сходиться з хвостової частини обтікаємого тіла, в якому течія в основному вихрова, мають місце великі градієнти швидкостей, проявляються властивості в'язкості і виникають сили тертя.

Вид спектру обтікання залежить від: форми тіла, швидкості потоку, а також від значень параметрів стану повітря, що визначають величину і характер проявів таких його властивостей, як в'язкість і стисливість. У деяких випадках одне або обидва ці властивості практично не виявляються і з метою спрощення розрахунків аеродинамічних сил їх впливом можна знехтувати.

- **ідеальна рідина** це середовище, в якому відсутні властивості в'язкості і стисливості;
- **в'язка рідина** - це в'язке середовище, позбавлена стисливості;
- **ідеальний газ** - це стислива газове середовище позбавлена в'язкості, але строго підкоряється рівнянню стану ідеального газу з незмінними термодинамічними константами;
- **досконалий газ** - це реальне газове середовище яке має властивості в'язкості і стисливості.

1 Задачі: 2.2.1:

- 1) Визначити як зміниться висота і швидкість польоту літака, якщо температура повітря змінюється від $+20^{\circ}\text{C}$ на поверхні землі, до **мінус 45°C** за бортом літака, а число Маха рівняється **0,6**.
- 2) Визначити як зміниться швидкість течії і швидкісний тиск в струменях над і під профілем, якщо на висоті польоту **$H = 5000\text{ м}$** при швидкості **$V = 720\text{ км/год}$** . площа поперечного перерізу струменю перед профілем **рівняється $S = 10\text{ см}^2$** , і змінюється: над профілем зменшується на **20%**, а під профілем збільшується на **40%**.
- 3) Визначити число Маха і число Рейнольдса на висоті **8000 м**, если швидкість літака рівняється **900 км/год**, коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється **$1,457 \cdot 10^{-5}\text{ Н с/м}^2$** , хорда крила равняється **1,5 м**.

- 4) Визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря і число Рейнольдса на висоті **10000 м**, якщо коефіцієнт динамічної в'язкості на цій висоті рівняється **$1,457 \cdot 10^{-5} \text{ Н с/м}^2$** , швидкість літака рівняється **420 км/год**, діаметр фюзеляжу літака рівняється **5 м**.