

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

**Циклова комісія аеронавігації**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни

**«Аерогідрогазодинаміка»**

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Аеронавігація**

272 Авіаційний транспорт

за ТЕМОЮ 4- Закономірності вихрового руху потоку.  
Теорема М. Є. Жуковського про підйомну силу крила

**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 4.3: Фізична сутність газодинамічних особливостей**

### **План лекції:**

- 1 Фізична сутність газодинамічних особливостей
- 2 Принцип моделювання потенційної течії

### **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 4.3: Фізична сутність газодинамічних особливостей

#### План лекції:

#### 4.3.1 Фізична сутність газодинамічних особливостей

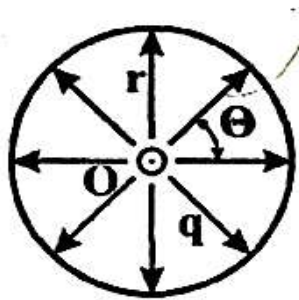
#### 4.3.2 Принцип моделювання потенційної течії

#### 4.3.1 Фізична сутність газодинамічних особливостей і принцип моделювання потенційної течії

##### 4.3.1 Витік

*Якщо рідина або газ розтікається на всі боки простору, витікаючи з деякою точки, яка називається джерелом, то такий потік називається витокком. Течія рідини або газу, яка виникає навколо джерела і рухається по радіусам сферичної поверхні називається потоком джерела (рис 4.3.1).*

**Витокком** називається деяка газодинамічна особливість, яка формує потік рідини або газу, що витікає з деякого центру, названого джерелом, по радіусам сферичної поверхні з однаковою в усіх напрямках швидкістю. Об'ємна витрата рідини з джерела:  $q = 4\pi r^2 \cdot V_r$ .



$$V_r = f(r); q = 4\pi r^2 \cdot V_r;$$

$$V_l = 0; V_r = \frac{q}{4\pi r^2};$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi r^2};$$

$$V_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r}; V_l = \frac{\partial \varphi}{\partial l} = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta};$$

Рис 4.3.1 Схема газодинамічної особливості - витіку

Тоді радіальна швидкість потоку рідини або газу дорівнюватиме:

$$V_r = \frac{q}{4\pi r^2}; \quad V_l = 0;$$

Потенціал швидкості дорівнює:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi r^2};$$

де

$\varphi$  - потенціал швидкості, який характеризує безвихровий потік, (тобто потенційне - безвихрову течію).

При безвихровому русі рідини або газу швидкість залежить від координат  $\varphi(x, y, z)$ , і це дає можливість визначити складові швидкості частинки по координатам вісей.

Проекції швидкості при плоскій течії в полярних координатах можна записати:

$$V_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

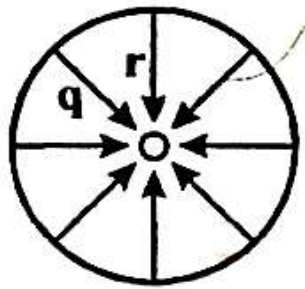
$$V_l = \frac{\partial \varphi}{\partial l} \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}$$

Наявність потенціалу швидкості дає можливість використовувати теорію безвихрових течій. Витік вводить в основний потік рідини або газу додатковий потік з деяким витратою рідини ( $q$ ).

#### 4.3.2 Сток

Якщо рідина або газ стікає з деякого навколишнього простору в одну точку, то такий потік називається **стоком** (рис 4.3.2).

**Стоком** називається деяка газодинамічна особливість, яка формує негативний потік рідини або газу, який притікає з навколишнього простору до деякого центру по радіусам сферичної поверхні з однаковою до всіх напрямків швидкістю.



$$V_{(r)} = f(r);$$

$$V_{(r)} = -\frac{q}{4\pi r^2};$$

$$\varphi = -\frac{q}{4\pi r};$$

Рис 4.3.2 Схема газодинамічної особливості - стоку

Сток відбирає від основного потоку рідини або газу деяку частину рідини або газу з витратою ( $q$ ). Швидкість радіального потоку стоку буде дорівнювати:

$$V_r = -\frac{q}{4\pi r^2}$$

$$\varphi = -\frac{q}{4\pi r^2}$$

Для окремого випадку (плоскої течії) радіальні швидкості витоку і стоку можна розрахувати за формулою:

$$V_r = \pm \frac{q}{4\pi r^2}$$

Для плоского випадку витрата має розмірність  $q$  - м<sup>2</sup>/с, через площу поперечного перерізу.

### 4.3.3 Діполь

Якщо зближувати центри витоку і стоку, то утворюється новий вид газодинамічної особливості - діполь (дублет).

**Діполем** називається деяка газодинамічна особливість утворена накладанням витоку і стоку на область за якою формується потік рідини або газу з однаковими витратами (рис 4.3.3 і 4.3.4).

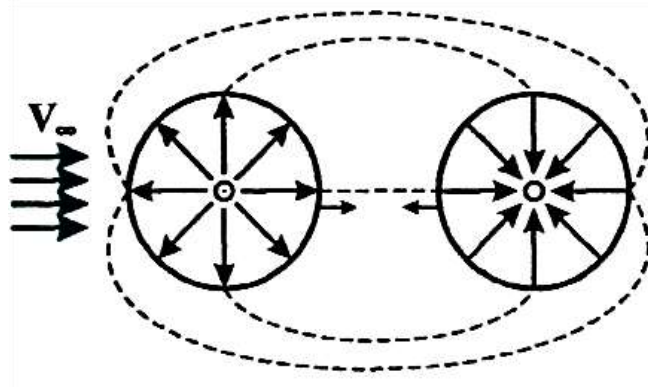


Рис 4.3.3 Схема формування газодинамічної особливості - діполя

При діполі відстань між витокіом і стоком прагне до нуля, а витрата - до нескінченності, зберігаючи при цьому момент діполя постійним.

Момент діполя дорівнює:  $m = 2 \cdot l \cdot q$

де

$l$  - відстань між джерелом витоку і приймачем стоку, м;

$q$  - витрата рідини або газу, м<sup>3</sup>/с.

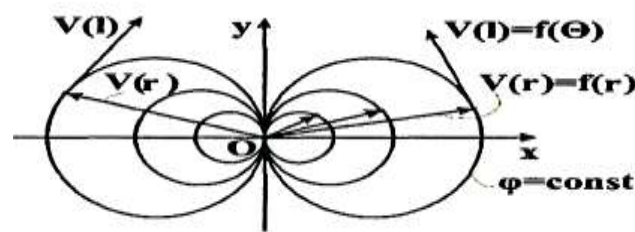
Потенціал швидкості дорівнює

$$\varphi = - \frac{m}{4\pi r} \cdot \cos \theta$$

де

$r$  - радіус вектор диполя, м;

$\theta$  - кут відхилення радіус вектора від осі  $ox$ , радіан.



$$\begin{aligned} m &= 2lq; \quad \varphi = \frac{m}{2\pi r} \cdot \cos \theta; \\ V(r) &= - \frac{m}{2\pi r^2} \cdot \cos \theta; \\ V(t) &= - \frac{m}{2\pi r^2} \cdot \sin \theta; \end{aligned}$$

Рис 4.3.4 Схема виникнення газодинамічної особливості - діполя

де

$l$  - відстань між джерелом витоку і приймачем стоку, м;

$q$  - витрата рідини або газу,  $\text{м}^3 / \text{с}$ .

Потенціал швидкості дорівнює

$$\varphi = - \frac{m}{4\pi r} \cos \theta$$

де

$r$  - радіус вектор діполя, м;

$\theta$  - кут відхилення радіус вектора від осі  $OX$ , радіан.

Нехай в  $m.O$  знаходяться центр діполя, тоді лініями струйки будуть кола, центри яких лежать на осі  $OX$ , загальна точка перетину кіл перебуває на осі  $OX$ . Колові та радіальні швидкості діполя можна визначити за формулами:

$$V_r = - \frac{m}{2\pi r^2} \cos \theta; \quad V_l = - \frac{m}{2\pi r^2} \sin \theta$$

#### 4.3.4 Сутність моделювання несучих поверхонь за допомогою газодинамічних особливостей

Моделювання поля швидкостей, поля тисків і спектра обтікання за допомогою газодинамічних особливостей:

1 Вихровими шнурами (рис 4.2.10):

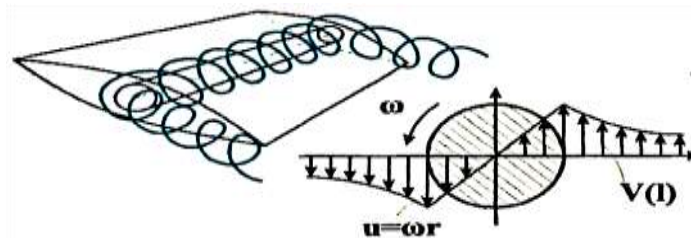


Рис 4.3.5 Схема моделювання несучих поверхонь підкововидним вихорем

2 Витоками і стоками (рис 4.2.11):

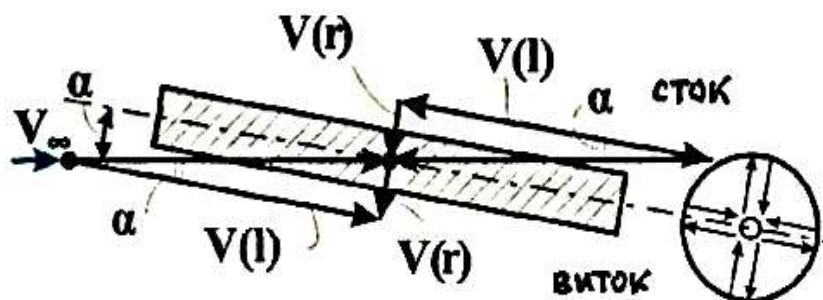


Рис 4.3.6 Схема моделювання несучих поверхонь стоками і витоками

3 Диполями (рис 4.3.7):

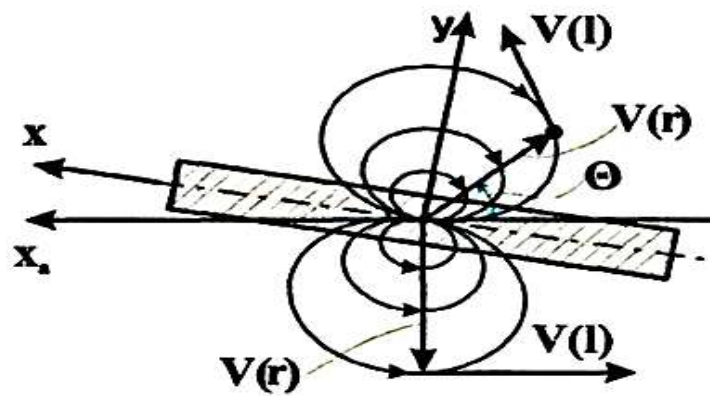


Рис 4.3.7 Схема моделювання несучих поверхонь діполем