

# ВІДТВОРЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ВИХРОУТВОРЕННЯ В ЗОНАХ ЗЧЕПЛЕННЯ КРИЛО- ФЮЗЕЛЯЖ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*<sup>1</sup>Зілінка В.В., <sup>2</sup>Шквар Є.О.*

*<sup>1</sup>ДП «Антонов», м. Київ, Україна*

*<sup>2</sup>НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна*

# Проблематика

моделювання інтерференційного вихроутворення  
при турбулентному обтіканні зон зчеплення  
крила з фюзеляжем



# Схематизована картина розвитку вихорів в зоні зчеплення крила з фюзеляжем

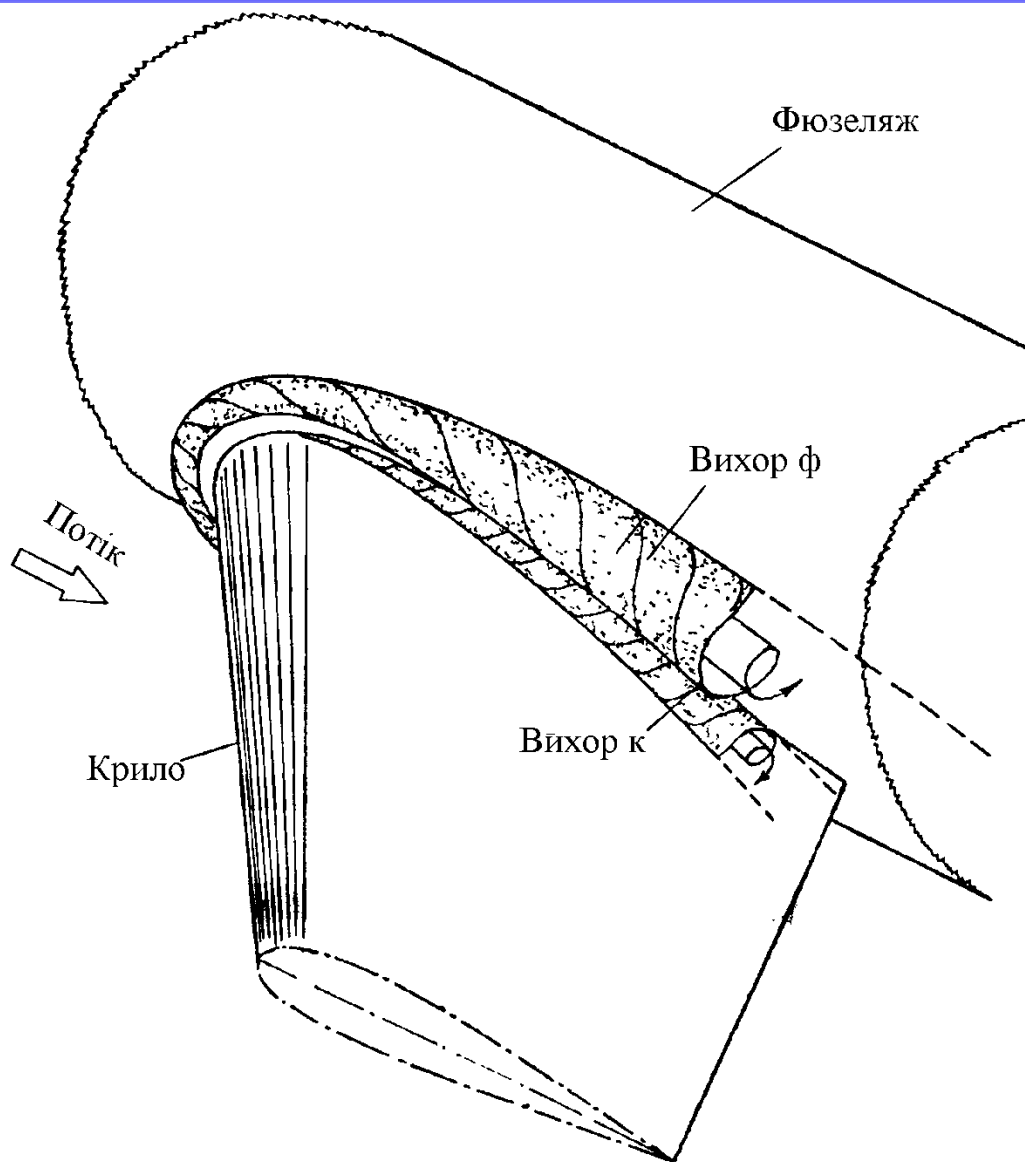
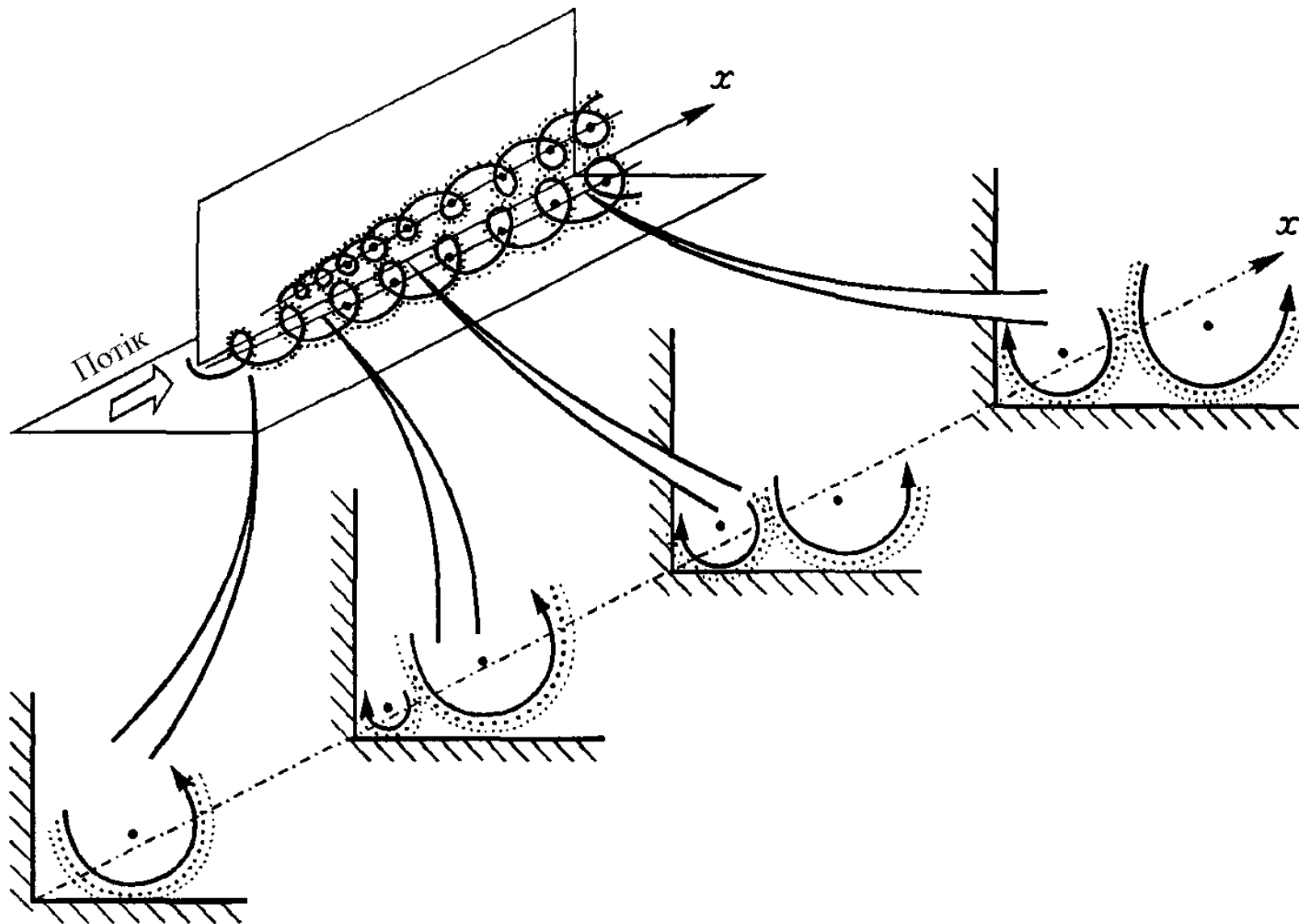


Таблица 3.2

О	Формы постоянного тока								Формы переменного тока	
	I Плоские				II Объемные				III Объемно-дискретные	
	1 Левые		2 Правые		1 Левые		2 Правые		1 Левые	2 Правые
род семейства	1 Устойчивые		2 Неустойчивые		1 Устойчивые		2 Неустойчивые		1 Устойчивые	
класс	1 Устойчивые		2 Неустойчивые		1 Устойчивые		2 Неустойчивые		1 Устойчивые	
Вид 1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

# Схематизована картина розвитку вторинних течій вздовж кутової конфігурації



# Моделі та методи обчислювальної аеродинаміки

## Модель потоку

1. Рівняння повного потенціалу
2. Рівняння Ейлера
3. Рівняння Нав'є-Стокса

## Моделювання турбулентності

1. Алгебраїчні моделі
2. Диференціальні моделі
3. Моделювання від'єднаними вихорами
4. Моделювання великими вихорами
5. Пряме чисельне моделювання

# Вихідні рівняння у формі Рейнольдса

Рівняння нерозривності:

$$u = \bar{u} + u'$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial \bar{x}_i} = 0;$$

$$u(t) = \frac{1}{\Delta T} \int_t^{t+\Delta T} u(t) dt$$

Рівняння руху:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial \bar{x}_j} = -\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}_i} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial \bar{x}_j \partial \bar{x}_j} + \frac{\partial \bar{\tau}_{t\ ij}}{\partial \bar{x}_j};$$

Моделльне представлення напружень:

$$\bar{\tau}_{t\ ij} = -\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \bar{S}_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \bar{k};$$

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial \bar{x}_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial \bar{x}_i} \right);$$

$$\bar{k} = \frac{\bar{\tau}_{kk}}{2} = -\frac{\overline{u'_k u'_k}}{2}$$

# Рівняння руху у фільтрованій формі (Основа методу моделювання великими вихорами - LES)

Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_i} = 0;$$

Рівняння руху:

$$\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \tilde{u}_i \tilde{u}_j}{\partial x_j} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 \tilde{u}_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{d\bar{p}}{dx};$$

Модельне представлення напружень Рейнольдса:

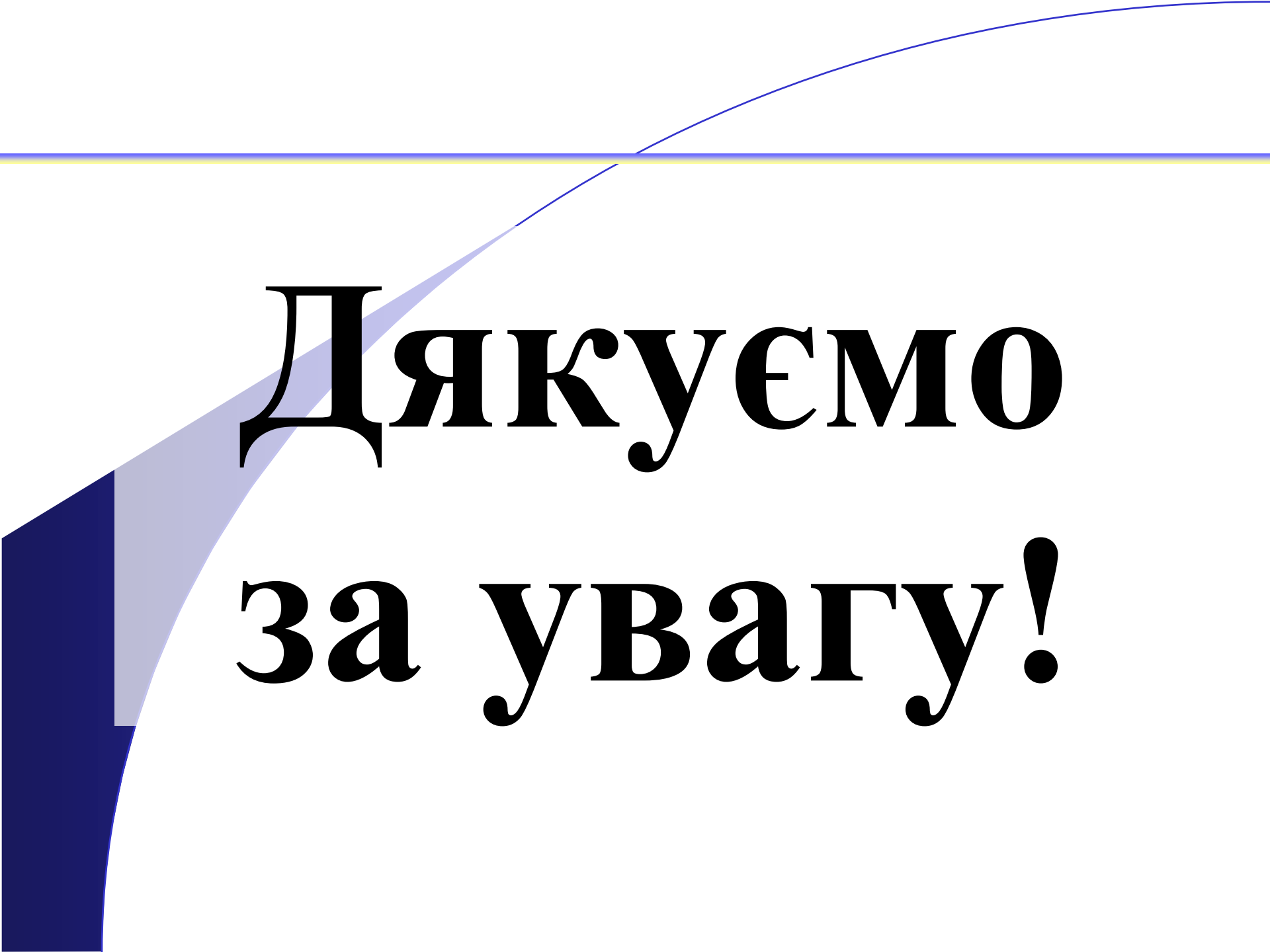
$$\tau_{ij} \approx R_{ij} = -\nu_s \tilde{S}_{ij} + \frac{1}{3} \delta_{ij} R_{kk} = 2C_s \Delta^2 |\tilde{S}| \tilde{S}_{ij} + \frac{1}{3} \delta_{ij} \tau_{kk};$$

$$\nu_s = 2C_s \Delta^2 |\tilde{S}|; \quad |S| = \sqrt{2\tilde{S}_{ij}\tilde{S}_{ij}}; \quad \tilde{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right);$$

## ВИСНОВКИ

Дослідження даної проблематики потребують застосування методології паралельних, розподілених обчислень разом з сучасними підходами до моделювання турбулентності, таких як моделювання динаміки великих вихорів (Large Eddy Simulation) або переносу рейнольдсових напружень, які через надмірну ресурсовитратність та складність поки що не стали промисловими стандартами, а, отже, не втілені до цього часу в промислових обчислювальних пакетах. Саме тому дослідження в цьому напрямку є актуальними і будуть об'єктом подальшого докладання зусиль авторів.





**Дякуємо  
за увагу!**