

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ У ПРИСТРОЯХ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Доц. Ігнатенко В.М., студ. Щербаков О.М.

Теплові машини, такі як турбіни, насоси, компресори, настільки широко поширені в промисловості, що сучасне суспільство не зможе існувати без них. Сучасне проектування високоекономічних теплових машин ґрунтується на виконанні обчислювального експерименту, що враховує особливості в'язкої тривимірної течії рідини або газу. Це дозволяє вже на початкових етапах проектування здійснювати пошук раціональної форми елементів проточної частини без залучення фізичного експерименту.

Система рівнянь, що дозволяє виконати розрахунки параметрів потоку, складається:

з рівняння збереження імпульсу K

$$\frac{\partial K}{\partial \tau} + \int_f \rho \cdot c_n \cdot \vec{c} \cdot df = \int_V \rho \cdot \vec{F} \cdot dV + \int_f \vec{p}_n \cdot df,$$

рівняння збереження моменту імпульсу M

$$\frac{\partial M}{\partial \tau} + \int_f [\vec{r} \times \vec{c}] \cdot \rho \cdot c_n \cdot df = \int_V [\vec{r} \times \vec{F}] \cdot \rho \cdot dV + \int_f [\vec{r} \times \vec{p}_n] \cdot df,$$

рівняння збереження енергії

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \rho \cdot \left(U + \frac{c^2}{2} \right) \cdot dV = \int_f [\vec{p}_n \cdot \vec{c}] \cdot df + \int_V [\vec{F} \cdot \vec{c}] \cdot \rho \cdot dV + \int_V \rho \cdot q \cdot dV,$$

де U - внутрішня енергія об'єму dV .
рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \cdot \vec{c}) = 0,$$

рівняння стану

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_v \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T = -1,$$

рівняння процесу

$$\frac{dp}{p} + n \cdot \frac{dv}{v} = 0.$$

В наведених рівняннях ρ - густина рідини або газу, p - тиск, T - температура, v - питомий об'єм, c - швидкість потоку, n - показник політропи.

У загальному випадку така система диференціальних рівнянь не може бути вирішена навіть чисельно. Це призводить до необхідності спрощення системи рівнянь за рахунок певних допущень.

При моделюванні потоку виникає низка труднощів, які пов'язані як із складністю фізичних процесів, що відбуваються у досліджуваних апаратах, так і з проблемами адекватності математичних моделей. Розрахунки виконуються з використанням прикладних програм, призначених для моделювання просторових турбулентних течій у пристроях складної форми, наприклад, ANSYS/Flotran, Fluent, CFX-TASCflow, FlowER та ін.

У цих програмах вирішується чисельно рівняння Нав'є-Стокса:

$$\frac{du_i}{d\tau} = \rho \cdot F_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right],$$

$$\text{де } \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{і } i=j \\ 0 & \text{і } i \neq j \end{cases}$$

Часто вирішується усереднене за Рейнольдсом рівняння руху Нав'є - Стокса:

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial \tau} + \bar{c}_j \cdot \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x_j} = \bar{F} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \cdot \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x_j} - \bar{c}'_i c'_j \right).$$

Як правило, програмні одиниці таких комплексів, пов'язані загальним ядром, можна умовно поділити на 4 групи:

- 1) програми підготовки геометричних і газодинамічних вихідних даних, що працюють у діалоговому режимі з візуалізацією геометрії проточної частини;
- 2) програми побудови розрахункової області: розрахунок координат вузлів і метрики сітки з візуалізацією сіткових поверхонь;
- 3) газодинамічні програми: початкове наближення й обтікання;
- 4) програми візуалізації результатів газодинамічних розрахунків: побудова графіків, ізоліній і векторів напрямків потоку.

В даній доповіді надано деякі результати розрахунків в'язкої просторової течії в турбомашині.