

УДК 629.735.083.02.06(045)

ТЕЧІЯ В БЕЗГРАДІЄНТНОМУ КАНАЛІ З ТУРБУЛІЗАТОРАМИ**Ю. М. Терещенко**, д-р техн. наук, проф.; **К. В. Дорошенко**, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет

Kiki_ua@ukr.net

Наведено результати дослідження впливу турбулізаторів на інтенсивність процесу перемішування в примежовому шарі в безградієнтному каналі з метою оцінювання впливу турбулізаторів на ідеальний процес перемішування шляхом чисельного моделювання течії з подальшим порівнянням результатів чисельного і фізичного експериментів.

Ключові слова: турбулізатор, безградієнтний канал.

The research results of turbolators influence on the mixing intensity in the boundary layer of non-gradient channel are presented in the article. The estimation of influence of turbolators on the ideal mixing process was carried out by means of flow numerical simulation. Comparison results of numerical and physical experiments are given.

Keywords: turbolator, non-gradient channel.**Постановка проблеми**

Відомо, що природне турбулентне перемішування в примежовому шарі в безградієнтному каналі можна вважати ідеальним процесом, тому що воно не призводить до втрати енергії в примежовому шарі [1; 2]. Під час «ідеальної» перебудови рідина з одних зон надходить в інші без утворення вторинних течій, які підвищують опір обтічної поверхні. При градієнтному характері течії в градієнтних каналах у примежовому шарі можуть виникати вторинні течії, які зумовлюють збільшення опору обтічного тіла. Відривання потоку супроводжується різкою зміною параметрів потоку і виникненням зони, в якій робоче тіло в дифузорному каналі рухається проти наростаючого тиску. За певних умов кінетичної енергії в примежовому шарі поблизу стінки в дифузорному каналі не вистачає для забезпечення течії проти наростаючого тиску. У цьому випадку лінії струму відходять від поверхні і в області, що утворилася, виникає ще одна течія — стійка вихрова зона (зривна зона).

Положення точки відриву визначається величиною градієнта тиску dp/dx і профілем швидкості в примежовому шарі.

В точці відриву $du/dy = 0$. Збільшення dp/dx при незмінному профілі швидкості призводить до зміщення точки відриву проти потоку. З іншого боку, чим повнішим буде профіль швидкості, тобто чим більшу енергію будуть мати частки робочого тіла безпосередньо біля стінки при заданому градієнті тиску dp/dx , тим пізніше відбудеться відривання. З метою запобігання впливу вторинних течій доцільно інтенсифікувати процес перемішування в примежовому шарі шляхом примусової турбулізації потоку з боку обтічної поверхні або шляхом підведення енергії з основного потоку (ядра потоку).

Турбулізатори потоку є прикладом пристрою, що підсилює перемішування шляхом створення поздовжніх вихорів. Вихори, що створюються турбулізаторами, можна вважати механізмом перебудови течії, вплив якого зберігається на значній відстані вздовж потоку.

Фізичні передумови застосування турбулізаторів на ізолюваних поверхнях ґрунтуються на підвищенні стійкості примежового шару за рахунок примусового переведення течії з ламінарної в турбулентну. Дослідження, результати яких наведені в монографіях [1; 2; 3], показали, що наявність турбулізаторів на поверхні ізолюваних профілів і на стінках каналів призводить до істотної зміни їх гідравлічних втрат.

Для більш коректної оцінки впливу турбулізаторів на перебіг у градієнтних каналах необхідно знати вплив турбулізаторів на формування примежового шару в чистому вигляді (без впливу градієнта тиску).

Постановка завдання

У цій праці ставиться завдання дослідження впливу турбулізаторів на інтенсивність процесу перемішування в примежовому шарі в безградієнтному каналі ($dF/dx = 0$, де F — площа поперечного перетину каналу) з метою оцінювання впливу турбулізаторів на «ідеальний» процес перемішування шляхом чисельного моделювання течії з подальшим порівнянням результатів чисельного і фізичного експериментів.

Вирішення завдання. Аналіз результатів

Розрахунок турбулентної течії газу виконується шляхом чисельного рішення усереднених рівнянь Нав'є–Стокса (рівняння Рейнольдса). При усередненні за часом у рівняннях з'являються нові члени, які можна інтерпретувати як градієнти додаткових напружень і теплових потоків, пов'язаних з турбулентним рухом.

Ці нові величини повинні бути пов'язані з характеристиками усередненої течії за допомогою моделей турбулентної в'язкості.

На сьогодні існує безліч різних моделей турбулентної в'язкості. У даній роботі при розрахунку використовувалася модель турбулентної в'язкості SST Ментера [4], яка записується шляхом суперпозиції моделей турбулентної в'язкості k - ε і k - ω та ґрунтується на тому, що моделі типу k - ε краще описують властивості вільних зміщених течій, а моделі k - ω мають перевагу при моделюванні пристінних течій.

Повільний перехід від k - ω моделі в пристінній області до k - ε в ядрі потоку забезпечується введенням вагової емпіричної функції F_1 .

Чисельне розв'язання задач газової динаміки досягається шляхом дискретизації вихідних диференціальних рівнянь на якій-небудь розрахунковій сітці.

Дискретизація — це процес, при якому диференціальні рівняння замінюються дискретними аналогами, тобто трансформуються в алгебричні рівняння відносно значень невідомих величин у вузлах розрахункової сітки.

Для розв'язання поставленої задачі використовується метод контрольного об'єму (МКО). Основна ідея МКО піддається прямій фізичній інтерпретації. Розрахункова область розбивається на деяке число непересічних комірок — контрольних об'ємів, таким чином, що кожна вузлова точка міститься в одному контрольному об'ємі.

Диференціальне рівняння інтегрується по кожному контрольному об'єму. Для розрахунку інтегралів використовуються кускові профілі, які описують зміну невідомих величин між вузловими точками.

У результаті знаходяться дискретні аналоги диференціальних рівнянь, в які входять значення невідомих величин у декількох вузлових точках. Отримані подібним чином дискретні аналоги виражають закон збереження невідомих величин для кінцевого контрольного об'єму точно так само, як диференціальні рівняння виражають закони збереження для безкінечно малого об'єму.

Для дослідження характеру обтікання було змодельовано течію в каналі, який мав такі розміри: довжину $L = 400$ мм, ширину $d = 65$ мм, висоту $h = 150$ мм. На вході задавалася швидкість $v = 132$ м/с. Висота турбулізаторів змінювалася $k = 0,8 - 2$ мм.

Відстань між турбулізаторами (по потоку) становила $\Delta x = 15$ мм, а між сусідніми турбулізаторами (поперек потоку) $\Delta z = 10$ мм.

Для експерименту було обрано три варіанти розміщення турбулізаторів (на вході — $\Delta X_1 = 0$, у

середині $\Delta X_2 = 0,33L$ і на виході $\Delta X_3 = 0,66L$ (рис. 1 а, б, в відповідно).

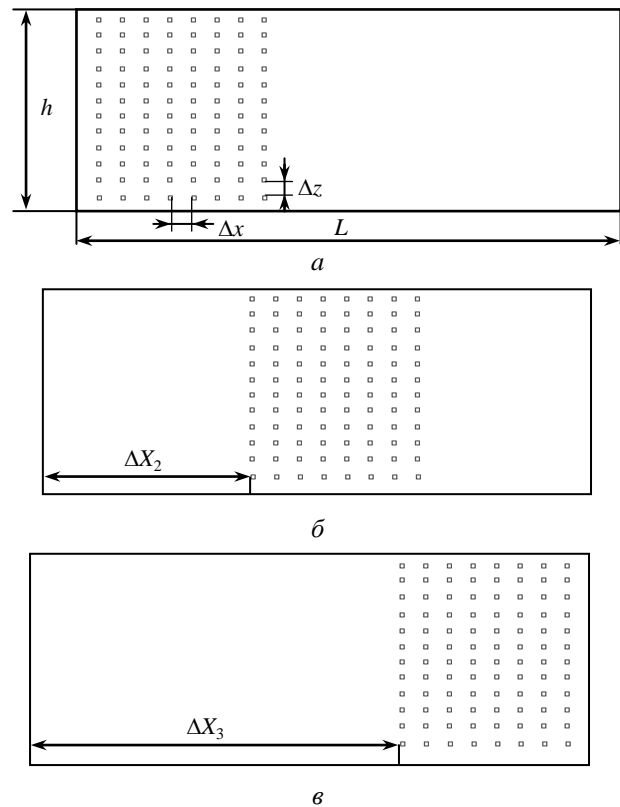


Рис. 1. Схеми розміщення турбулізаторів у каналі

Під час проведення розрахунків на межі розрахункової області ставились такі умови: геометрично незмінні непрозорі адіабатичні стінки, на вході задавався повний тиск і швидкість повітря, на виході фіксувався статичний тиск, також використовувалася умова прилипання.

Була побудована нерегулярна адаптивна сітка з $\approx 0,9$ млн комірок.

Як робоче тіло використовувалось повітря за нормальних атмосферних умов.

На рис. 2 показано миттєве поле швидкості при розміщенні турбулізаторів у середній частині каналу (рис. 2, а), збільшений фрагмент поля швидкості в області з турбулізаторами (рис. 2, б) і фрагмент поля швидкості на вихідному перетині (рис. 2, в).

Ці поля швидкості дають змогу якісно оцінити формування примежового шару в каналі з турбулізаторами.

Для кількісної оцінки впливу турбулізаторів на інтенсивність перемішування у примежовому шарі за результатами чисельного моделювання було побудовано профіль швидкості і визначено товщину примежового шару.

Після цього розраховувались інтегральні характеристики примежового шару [2].

На рис. 3 подано залежність відносної товщини витиснення примежового шару $\bar{\delta}^* = \frac{\delta^*}{k}$ у вихідному перетині безградієнтного каналу від відносної висоти турбулізаторів на поверхні $\bar{k} = \frac{k}{L}$ (1, 2, 3 — варіанти розташування турбулізаторів у каналі: на вихідній ділянці, у середині і на вхідній ділянці каналу, відповідно).

У разі розміщення турбулізаторів у вхідній ділянці товщина втрати імпульсу на вихідній кромці залежить від рівня шорсткості менше, ніж при розташуванні турбулізаторів у вихідній ділянці каналу.

При $0,002 < \bar{k} < 0,005$ відбувалось збільшення товщини втрати імпульсу на 40–60 %.



Рис. 2 Миттєве поле швидкості

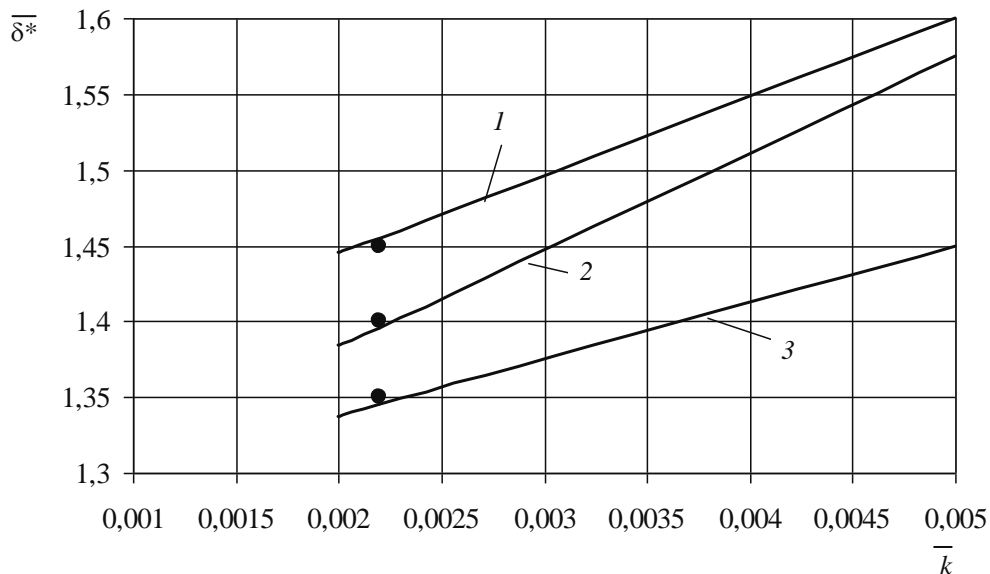


Рис. 3. Залежність товщини витиснення примежового шару у вихідному перетині безградієнтного каналу від відносної висоти турбулізаторів на поверхні

● — результати фізичного експерименту [1]; — — результати чисельного експерименту

Висновки

Зіставлення результатів фізичного і чисельного експериментів показали їх гарну збіжність.

Таким чином, можна зробити висновок, що моделювання течії в'язкого газу в безградієнтному каналі з використанням чисельного розв'язання усереднених рівнянь Нав'є–Сток-

са, що замикаються моделлю турбулентної в'язкості SST, є достатньо надійним і може бути рекомендовано для дослідження течії в градієнтних каналах.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Терещенко Ю. М.* Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю. М. Терещенко. — М. : Машиностроение, 1987. — 168 с.
2. *Чжен П.* Управление отрывом потока / П. Чжен. — М. : Мир, 1979. — 365 с.
3. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М. : Наука, 1969. — 742.
4. *Menter F. R.* Two-equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications// AIAA J., 1994. — 32, — № 11. — P. 1299–1310.

Стаття надійшла до редакції 05.12.2011.