

УДК 532.526

B253.380.561

Г.А. Воропаєв, д-р фіз.-мат. наук

Н.В. Розумнюк

Панчанан Датта, канд. техн. наук

ВПЛИВ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОТОКА НА АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЧОЇ ПОВЕРХНІ

Інститут гідромеханіки Національної академії наук України, vga@nbi.com.ua

Розглянуто результати числового моделювання взаємодії скінченної пластини з одиночним дискретним вихром або парою вихрів на основі розв'язку нестационарних рівнянь Нав'є – Стокса в змінних завихреність – функція тока. Показано зміни опору тертя в пластині залежно від початкових параметрів вихрів.

Вступ

Неоднорідність атмосфери може призводити до суттєвих змін аеродинамічних характеристик несучих поверхонь літальних апаратів під час польоту. Неоднорідність атмосфери визначається не тільки зміною фізичних властивостей повітря (температура, густина, тиск), а й неоднорідністю поля швидкості, яку зумовлено турбулентністю атмосфери. Турбулентність атмосфери включає статистичні збурення швидкості та тиску, які визначаються взаємодією різноманітних вихрів різної інтенсивності та масштабів [1].

Постановка проблеми

Розглянуто випадки, коли масштаби вихрових збурень порівняні з масштабами літальних апаратів, тобто взаємодію несучої поверхні з одиночним вихром або парою вихрів на фоні однорідного поля швидкості, також розглянемо паралельну взаємодію вихрів і тіла, тобто вісь обертання вихрів є паралельною до передньої кромки тіла. Несуча поверхня модулюється пластиною, розміщеною паралельно до напрямку потоку (рис. 1).

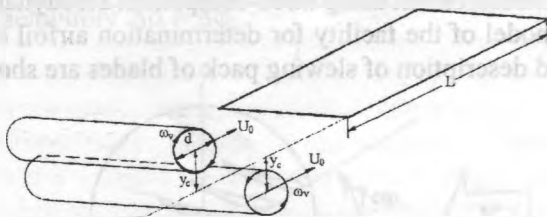


Рис. 1

Аналіз взаємодії вихра з пластиною будемо виконувати на основі числового розв'язку нестационарних рівнянь Нав'є – Стокса для нестисливої рідини в плоскій постановці. Рівняння записуємо в змінних завихреність – функція течії (ω, ψ) [2]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + (\mathbf{v} \text{grad}) \omega = \nu \Delta \omega; \quad \Delta \psi = \omega;$$

з граничними умовами на поверхні:

$$\psi = 0; \quad \partial^2 \psi / \partial n^2 = \omega.$$

Тонка пластина скінченної довжини знаходиться всередині розрахункової області У початковий момент часу в розрахункової області існує потік, який сформував на пластині прилежовий шар. На деякій відстані вище по потоку від пластини вносимо один вихор або пару вихрів, в яких розподіл швидкостей задано у вигляді:

$$u = V_v \sin(\pi x / d_v) \cos(\pi y / d_v);$$

$$v = -V_v \cos(\pi x / d_v) \sin(\pi y / d_v),$$

де V_v – максимальна швидкість; d_v – початковий діаметр вихору.

Задача розв'язується чисельно методом скінченних різниць на нерівномірній сітці [3].

У результаті розв'язку основної системи рівнянь досліджено зміни опору тертя пластини під час її зіткнення з одним вихром або системою двох вихрів. Модельні задачі розглянуто для чисел Рейнольдса $Re_L = 1000 \div 10000$, $Re_L = U_\infty L / \nu$, де U_∞ – швидкість основного потоку, L – довжина пластини, ν – кінематична в'язкість середовища.

У розрахунках варіювалися початковий діаметр d_v та швидкість вихору V_v , і положення вихрів відносно один одного та пластини.

Вихрі переносяться потоком у напрямку пластини, і починаючи з деякої відстані від носика пластини вихор діє на прилежовий шар. Якщо при підході до пластини відбувається прямий удар вихру з передньою кромкою пластини, то процес можна умовно розділити на декілька послідовних етапів.

Спочатку з пластиною взаємодіє зовнішня частина вихру. Завихреність у ній слабка, тому її вплив на прилежовий шар майже не простежується. З наближенням до пластини ядра вихору картина течії в прилежовому шарі суттєво змінюється, потік стає несиметричним відносно пластини. Скошений потік біля носика на одному боці пластини виносить частину рідини із цього району, а на іншій, навпаки, додає. Ядро

вихору зміщується по вертикалі відносно свого початкового положення в той бік, де напрямок вертикальної компоненти швидкості в примежовому шарі збігається з напрямком вертикальної компоненти швидкості в передній частині вихору. Тобто вихор, який обертається за годинниковою стрілкою, зміщується вниз, а той, що обертається в зворотному напрямку, зміщується вгору.

Далі пластина розрізає вихор на дві частини, які переміщуються вздовж кромки примежового шару на верхній та нижній боках пластини. Ступінь їх впливу на місцевий примежовий шар залежить від знака завихреності і того, яка частина початкового вихору потрапила на кожний бік. Якщо завихреність цього вторинного вихору має такий же знак, як і місцева завихреність у примежовому шарі, то сумарна завихреність у цій частині примежового шару збільшується, а її максимум може знаходитися вже не на пластині, а в потоці. Горизонтальна складова швидкості в тій частині вихору, яка дотикається до примежового шару, має протилежний знак по відношенню до швидкості в примежовому шарі. Тому градієнт горизонтальної швидкості по нормалі до поверхні пластини зменшується, тобто зменшується місцеве тертя на поверхні.

Інша частина початкового вихору потрапляє в примежовий шар із протилежним знаком завихреності та притискає примежовий шар до поверхні. Місцеве тертя тут зростає.

Поступово обидві частини початкового вихору виштовхуються все далі від поверхні, їх інтенсивність та вплив на примежовий шар зменшуються внаслідок дифузії

Отже, викликані на різних боках пластини ефекти протилежні за знаком, але можуть мати різну інтенсивність. Сумарна дія є такою, що повний опір тертя пластини при ударі вихору збільшується. Максимальне зростання одержано для вихору, центр якого знаходиться на рівні носика пластини (рис. 2).

На рис. 2 показано відношення повного тертя на пластині при ударі вихору з $d_v=0,05L$, $V_v=U_\infty$, початковими координатами центра $x_c = -0,3L$, $y_c = 0$ до повного тертя при стаціонарному обті-

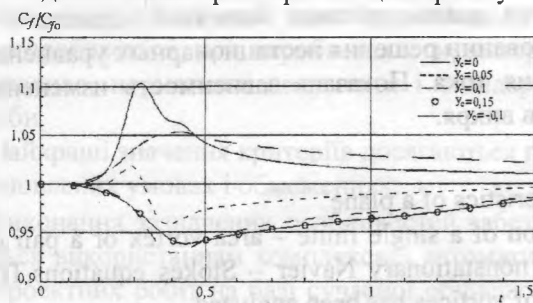


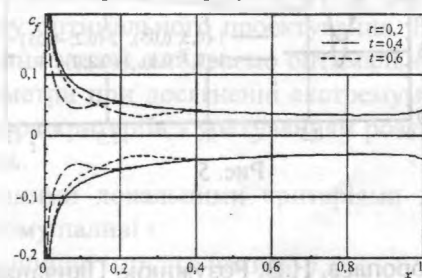
Рис. 2

канні. Вихор обертається за годинниковою стрілкою. При переміщенні його початкового положення по вертикалі вгору все більша його частина після розділення буде потрапляти в примежовий шар із таким же знаком завихреності та зменшувати місцеве тертя на пластині. При $y_c > d_v$, тобто, коли його ядро практично цілком потрапляє на верхній бік пластини, вихор не викликає збільшення повного опору тертя навіть при проходженні біля носика, а при $y_c \approx 2d_v$ одержано його максимальне зменшення. Якщо ж ядро вихору потрапляє в область із протилежною завихреністю ($y_c < 0$), повний опір тертя завжди збільшується.

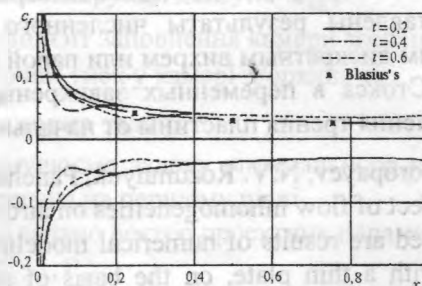
При аналізі взаємодії пластини з парою вихрів, які мають однакову інтенсивність, але обертаються в протилежних напрямках, змінювалася відстань між їх центрами по вертикалі та горизонталі, і ступінь несиметрії відносно до пластини.

Вихри симетричної пари, наближаючись до пластини, починають розходитися в різні боки по вертикалі внаслідок виштовхування з боку примежового шару. Якщо завихреність у кожному з вихрів збігається за знаком із місцевою завихреністю примежового шару, то повний опір тертя пластини зменшується.

На рис. 3 показано локальне тертя на обох боках пластини при проходженні пари вихрів з початковими координатами центрів $x_c = -0,3L$, $y_c = \pm 0,1L$ (рис. 3, а) і $x_c = -0,3L$, $y_c = \pm 0,05L$ (рис. 3, б). Вплив вихрів розповсюджується на $\sim 0,4L$ від носика пластини. Подібно до аналогічного випадку одиночного вихору, максимум зменшення одержано при $y_c \approx 2d_v$.



а



б

Рис. 3

При підході до пластини двох вихрів, зміщених один відносно до одного по горизонталі, вихор, який іде першим, раніше починає виштовхуватися примежовим шаром пластини. Він зміщується по вертикалі та тягне за собою інший вихор, який унаслідок цього стикається з носиком пластини та розбивається на дві частини. Зниження опору тертя відразу ж зменшується в порівнянні з симетричною парою вихрів (рис. 4). Відставання нижнього вихору на один початковий діаметр зменшує максимальне зниження опору в два рази. Дія першого вихору стає більш короткотерміною, але наближення другого вихору знову підтримує ефект зменшення опору практично на тому ж рівні. Після проходження другого вихору опір починає збільшуватися до вихідного значення.

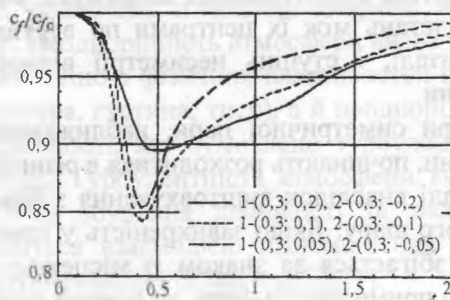


Рис. 4

Більше відставання другого вихору (до двох діаметрів) призводить до того, що дія першого вихору встигає закінчитися, і другий вихор практично не зменшує опір пластини.

Зсув пари по вертикалі (рис. 5) може викликати підвищення тертя в момент підходу другого

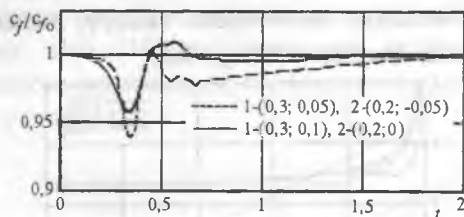


Рис. 5

вихору, центр якого був розташований на рівні носика пластини.

Збільшення відстані по вертикалі між вихрами симетричної пари зменшує максимальний ефект, але здійснює його більш тривалим у часі (рис. 4). Збільшення вертикальної дистанції між послідовними вихрами, навпаки, підсилює їх позитивну дію (рис. 6), оскільки це наближує течію, породжувану цими вихрами, до створеної парою симетричних вихрів.

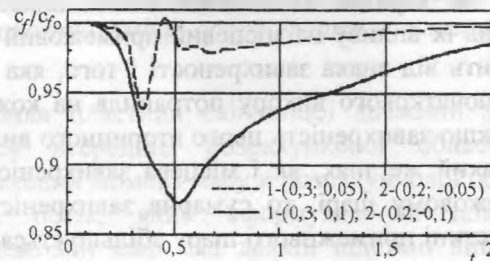


Рис. 6

Висновки

Одержані результати показують значну зміну (до 7%) коефіцієнта опору тертя при зіткненні несучої поверхні з одиночним вихором або системою двох вихрів. Опір тертя може як збільшуватися, так і зменшуватися залежно від величини завихреності, розмірів вихрів, напрямку їх обертання та початкового положення відносно передньої кромки поверхні. Для двох вихрів суттєве значення має також положення відносно один одного.

Список літератури

1. Тейлор Д. Нагрузки, действующие на самолет. – М.: Машиностроение, 1971. – 372 с.
2. Роуч П. Вычислительная гидромеханика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
3. Воропаев Г.О., Розумнюк Н.В. Чисельне моделювання взаємодії одиночного вихору з пластинною // Вісн. Київ. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Математика. Механіка. – 1998. – Вип. 1. – С. 53–54.

Стаття надійшла до редакції 17.04.03.

Г.А. Воропаев, Н.В. Розумнюк, Панчанан Датта

Влияние неоднородности потока на аэродинамические характеристики несущей поверхности

Представлены результаты численного моделирования взаимодействия конечной пластины с одиночным дискретным вихрем или парой вихрей на основании решения нестационарных уравнений Нав'е – Стокса в переменных завихренность – функция тока. Показана зависимость изменения сопротивления трения пластины от начальных параметров вихря.

G.A. Voropaev, N.V. Rozumnyuk, Panchanan Datta

The effect of flow inhomogeneities on aerodynamic characteristics of a plane

Presented are results of numerical modeling the interaction of a single finite – area vortex or a pair of vortices with a thin plate, on the basis of solution of the nonstationary Navier – Stokes equations. The dependence of friction drag of the plate on initial parameters of vortices has been analyzed.