

УДК 629.735.0168.519.673 (045)

Є.П. Ударцев, д-р техн. наук, проф.
О.С. Рибальченко, асп.
О.Г. Щербонос, мол. наук. співроб.

ЗМІНА АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ ОБТІКАННІ ПРОФІЛЮ НА ВЕЛИКИХ КУТАХ АТАКИ

Отримано результат, що визначає суттєвий вплив нестационарного обтікання на аеродинамічні характеристики в разі великого кута атаки. В основі аналізу покладено розраховані визначення тиску на профілі за рівнянням Нав'є-Стокса.

The result determining essential influence of unsteady flow on aerodynamic characteristics is received at a large angle of attack. In the basis of the analysis lies the pressure distribution on profiles calculated by computer on equations of Navier-Stokes.

Вступ

Однією з причин виникнення нестационарного обтікання профілю може бути стрибок ущільнення, що виникає на передній частині профілю у разі великих кутів атаки (рис. 1).

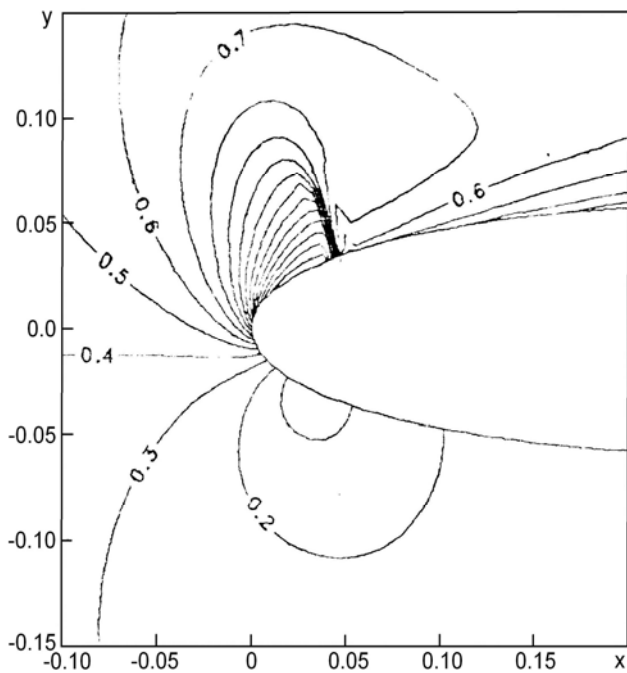


Рис. 1. Зміна чисел M на передній частині профілю NACA 0012 і стрибок ущільнення ($M = 0,4$; $\alpha = 15^\circ$)

Розрахунки, що наведено в праці [1], показують динаміку розвитку вихрового нестационарного обтікання профілю за кута атаки 15° та числа M , що дорівнює $0,5$.

Розподіли тиску на профілі в різні моменти обтікання та лінії потоку вихрового обтікання, що розвивається, показано на рис. 2.

Обтікання мають явно виражені період і амплітуду.

Постановка завдання

На підставі розрахунків, наведених в праці [1], можна визначити динаміку зміни аеродинамічних характеристик профілю крила:

- коефіцієнта піднімальної сили;
- опору;
- поздовжнього моменту.

Розрахунок виконано за допомогою інтегрування розподілу тиску по верхній та нижній поверхнях профілю на 12 епізодах в одному циклі розвитку нестационарного обтікання.

Отримані результати становлять практичний інтерес з погляду зміни місцевих навантажень на профілі, а також зміни динаміки руху профілю з аеродинамічними характеристиками, що змінюються періодично.

Аналіз особливостей нестационарного обтікання профілю

Стрибок ущільнення є генератором вихорів, що конвертуються по потоку і формують обтікання профілю приєднаними вихорами аж до взаємодії їх з відривним вихором.

Після відриву вихорів розвиток нестационарного обтікання періодично повторюється.

У результаті обтікання передньої кромки стрімко зменшується коефіцієнт тиску, яке зберігається протягом усього періоду.

Під час відриву потоку коефіцієнт тиску знижується до значення $C_p = -5,0$. Біля задньої кромки профілю наприкінці періоду формується відривний вихор зворотного обертання, що рухається до передньої кромки, взаємодіє з вихором, що розвивається від передньої кромки.

Взаємодійні вихори відриваються. Зворотний вихор створюється течією біля нижньої поверхні. Із відривом потоку стрибок біля передньої кромки зникає, потім починає повільно набирати сили і нестационарне обтікання повторюється.

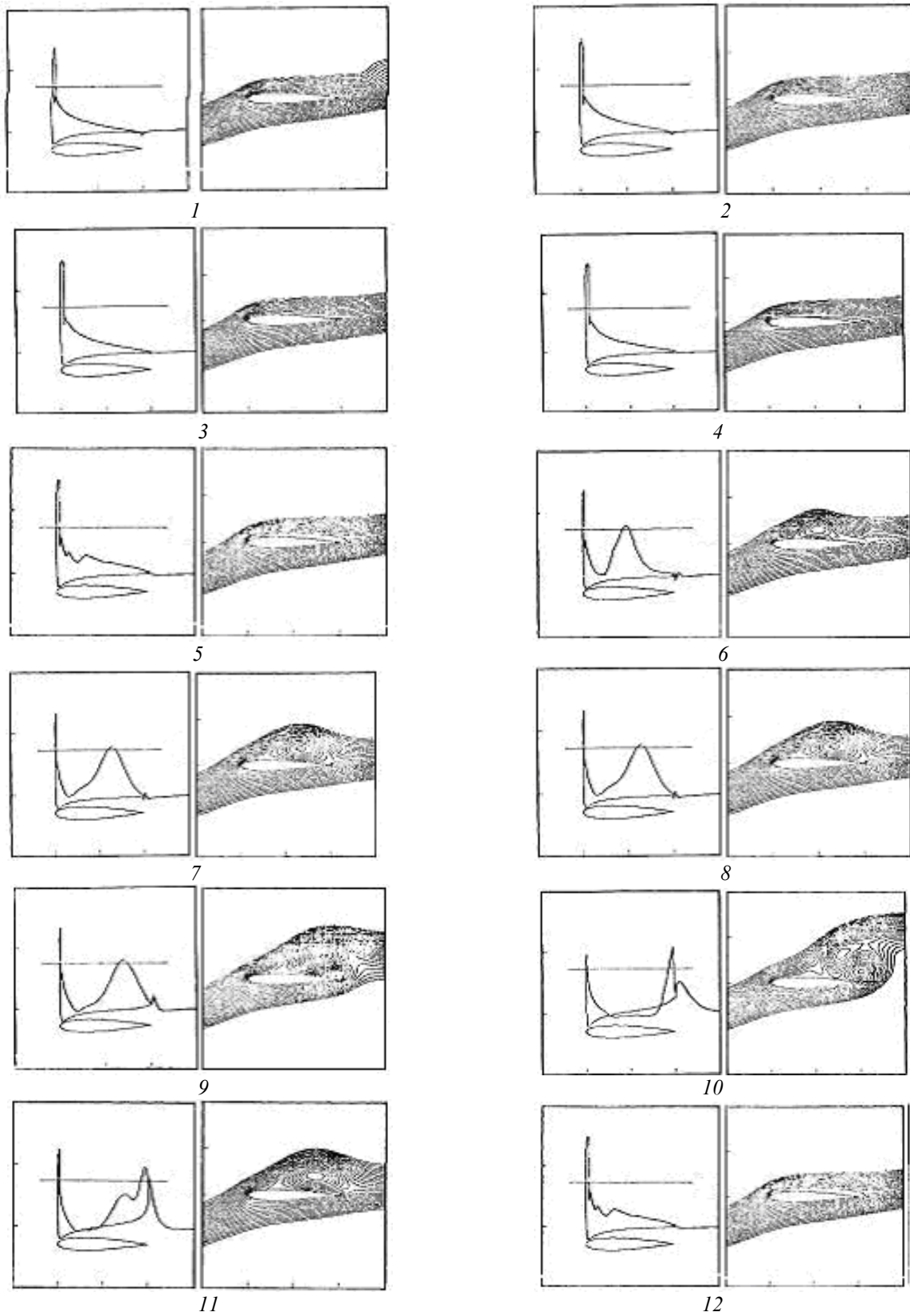


Рис. 2. Цикл формування вихрової структури обтікання, стрибком ущільнення ($M = 0,4$, $\alpha = 15^\circ$):
1-12 – епізод

В статті [2] наведено дані про нестационарне обтікання профілів крила на дозвукових і трансзвукових швидкостях при коливанні по куту атаки. Періодичність нестационарного обтікання підтверджується багатьма авторами.

Подібні результати з інтегрування рівнянь Нав'є-Стокса були отримані Г.С. Савельниковим для обтікання профілю з кута атаки 13° , розрядження біля передньої кромки досягало $C_p = -6,0$ однак появи стрибка ущільнення не спостерігалось.

Алгоритм розрахунку аеродинамічних характеристик

За даними розподілу тиску по нижній та верхній поверхнях крила розраховано коефіцієнти піднімальної сили, опору та поздовжнього моменту відносно носка профілю. Основи алгоритму викладено в працях [3–6].

Розроблений алгоритм передбачає розрахунок зміни аеродинамічних коефіцієнтів по верхній передній поверхні (до максимальної товщини) і задній частині, а також по нижній частині профілю.

Це дозволяє аналізувати причини зміни піднімальної сили, опору та виникнення підсмоктувальної сили в умовах нестационарного обтікання, особливо несучих коливних поверхонь. Для інтегрування поблизу різкої зміни коефіцієнта тиску вибирали більш щільний крок інтегрування. Інтегрування виконано із заданою точністю.

Розрахунки проведено по 12 етапах розвитку вихрового нестационарного обтікання профілю NASA 0012 при $M=0,4$ і $\alpha=15^\circ$.

Результати дослідів

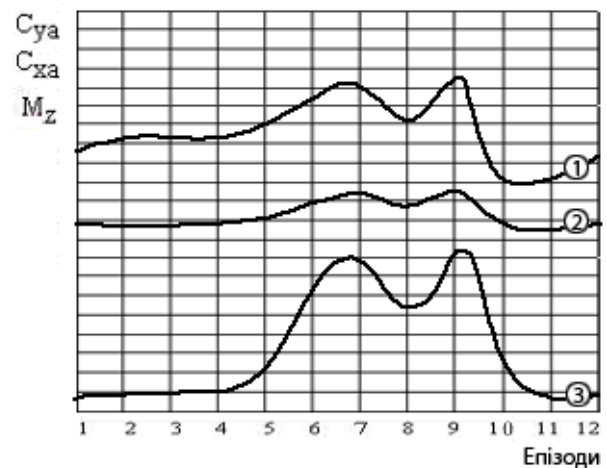
Результати дослідів показують, що аеродинамічні характеристики суттєво змінюються в міру просування вихору по хорді профілю (рис. 3, 4).

У реальних умовах вихор на верхній поверхні профілю в польоті реального літака рухається зі швидкістю 30–50 % від швидкості польоту [3] і це може призводити до зсуву результатів за часом та збільшення періодичності нестационарного обтікання.

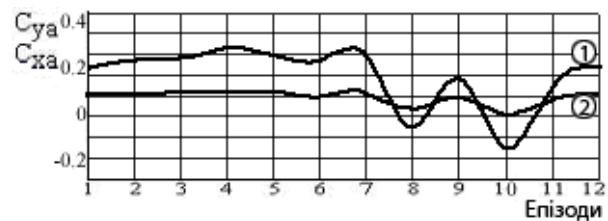
Характерною особливістю аналізованого нестационарного руху є пік розрядження біля передньої кромки, що наявний у всіх епізодах.

Як видно з рис. 3, в епізоді 6 в'язке обтікання профілю призводить до виникнення вихору, що розвивається до епізоду 8, переміщуючись до задньої кромки крила, за рахунок чого зростає піднімальна сила C_{ya} .

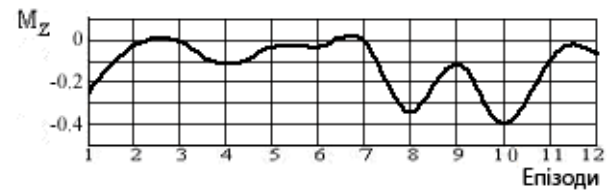
Починаючи з епізодів 7, 8 виникає парний відривний вихор біля задньої кромки, зворотний першому в напрямку обертання.



а



б



в

Рис. 3. Зміна піднімальної сили C_{ya} (1), опору C_{xa} , (2) та поздовжнього моменту M_z (3) на верхній (а) та нижній (б, в) поверхнях профілю NASA 0012 за нестационарного обтікання

У момент першої взаємодії двох вихорів виникає різке короткочасне падіння тиску, котре призводить до зменшення піднімальної сили C_{ya} .

Відривний вихор швидко розвивається і витісняє вихор, що рухався з передньої кромки. Це добре видно зі збільшенням піднімальної сили в епізоді 9.

Відрив цього вихору, призводить до різкого падіння тиску, і отже, й піднімальної сили C_{ya} , біля задньої кромки (епізоди 9–10).

Процес нестационарного розвитку обтікання профілю повторюється періодично.

Піднімальна сила у міру збільшення приєднаного вихору зростає, однак зі зменшенням до задньої кромки профілю і виникненням зворотного вихору біля задньої кромки, стрімко спадає від $C_y = 1,85$ до $0,4$, тобто майже в п'ять разів.

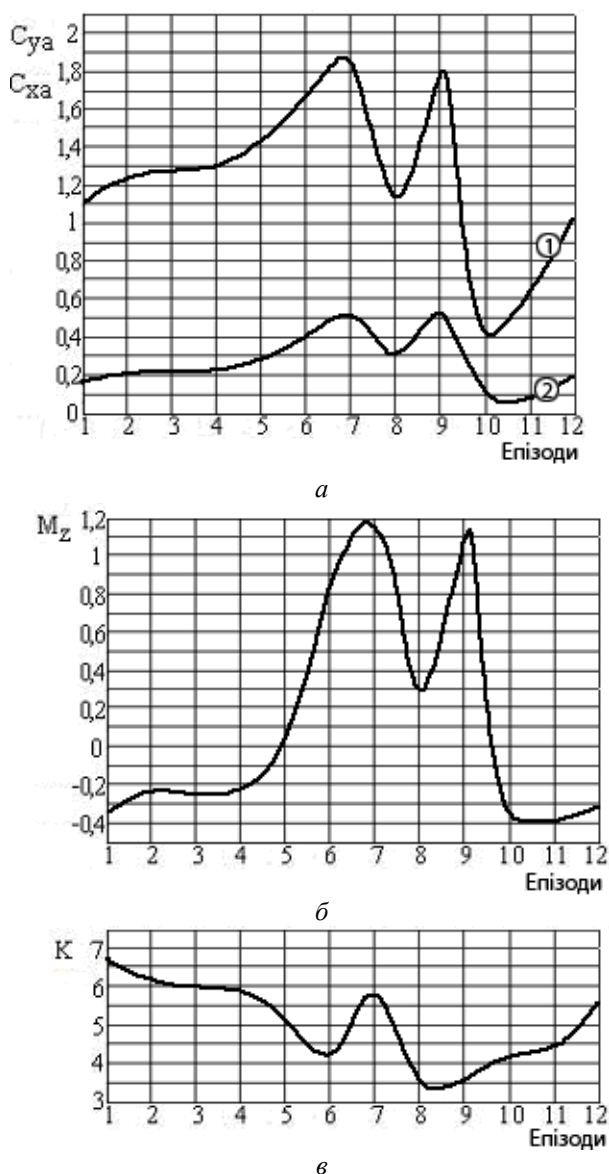


Рис. 4. Загальна зміна опору C_{xa} (а.2), підйимальної сили C_{ya} (а.1) та повздовжнього моменту M_z (б) та аеродинамічної якості K (в) профілю NASA 0012 при нестационарному обтіканні.

У процесі нестационарного обтікання опір збільшується до $C_{xa} = 0,5$ від початкового $C_{xa} = 0,158$, тобто більш ніж в утричі. Це не може не впливати на динамічні характеристики літака.

Моментні характеристики профілю за час розвитку нестійкого руху вихорів по верхній поверхні також суттєво змінюються (рис. 3).

При розвитку приєднаного вихру в епізодах 5–10 знак коефіцієнта моменту змінюється на протилежний.

Розрахунки показують, що аеродинамічна якість знижується від 6,77 до 3,3 (у два рази!) між епізодами 8, 9 у момент максимального розвитку вихору і зародження відривного вихору в задній кромці.

Зниження аеродинамічної якості зумовлює потребу в додатковій потужності для горизонтального польоту.

Циклічне зниження якості призводитиме до зменшення швидкості та висоти польоту.

Це суттєво впливатиме на характеристики динаміки польоту в разі тривалого впливу.

Висновки

Зміни аеродинамічних характеристик по хорді профілю призводять до змінних навантажень на обшивку, які можуть спричинити вібрацію крила. Періодичні зміни аеродинамічної якості в разі тривалого польоту можуть змінити траєкторію польоту літака. Виникнення подібних явищ на рульових поверхнях призведе до їх вібрації та коливань. Методом запобігання подібним явищам можуть стати спеціальні вихрогенератори, що розбивають організовану нестационарну структуру вихорів.

Література

1. Pulliam T.H. Euler and Thin layer Navier Stokes codes: ARC2D, ARC3D, Computational fluid dynamics // A workshop held at the University of Tennessee space institute. – 12-16. – 1984. – P. 15.43–15.66.
2. Ударцев Е.П., Переверзев А.М., Швець А.В. Нестационарная аэродинамика несущих поверхностей // Аэродинамика: проблемы и перспективы: сб. науч. тр.– Харьков: ХАИ, 2006. – Вып. 2. – С. 194–211.
3. Прикладная аэродинамика / Н.Ф. Краснов и др. – М.: Высш. шк. – 1974. – 730 с.
4. Аэродинамика: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. – Х.: ХАИ, 2006. – Вып. 2.– 306 с.
5. Загоруйко А.А., Швець О.В. Аеродинамічні характеристики профілю у несталому потоці // Вісн. НАУ. – 2006. – № 2. – С. 101–104.
6. Ударцев Е.П., Швець О.В. Аеродинамічні характеристики літака при нестационарному русі на режимах посадки // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х.: ХАИ, 2004. – Вып. 24. – С. 24–32.