

Jacek ROKICKI

Instytut Techniki Lotniczej
i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

NUMERYCZNA SYMULACJA PRZEPŁYWÓW PODDZWIĘKOWYCH WOKÓŁ PROFILU LOTNICZEGO Z UWZGLĘDNIENIEM ODERWANIA

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodę obliczeniową określenia przepływu wokół profilu płynu lepkiego i ściśliwego z uwzględnieniem obszaru oderwania. Metoda ta umożliwić może otrzymanie charakterystyk profilów, a w szczególności wartości współczynnika maksymalnej siły nośnej.

1. Wstęp

Wyznaczenie charakterystyki profilu lotniczego, a w szczególności znalezienie współczynnika maksymalnej siły nośnej, jest jednym z ważniejszych zadań obliczeniowych dla praktyki projektowej. Zadanie to do chwili obecnej nie jest rozwiązane w sposób w pełni zadowalający, gdyż rozwiązanie pełnych równań Naviera-Stokesa dla tego przypadku nie jest jeszcze praktycznie możliwe (przynajmniej w interesującym nas zakresie liczb Reynolda). Jak wiadomo, opływ profilu przy dużych kątach natarcia zależy w sposób istotny od powstających w tylnej części profilu rozległych obszarów oderwania.

Pierwsza metoda obliczeniowa uwzględniająca ten fakt i umożliwiająca otrzymanie poprawnego maksymalnego współczynnika siły nośnej pochodzi od Jacoba [1] i powstała w końcu lat sześćdziesiątych. Od tego czasu pojawiło się wiele prac zawierających rozwinięcie tej metody [2, 3, 4]. Algorytm zaproponowany przez Jacoba polega na iteracyjnym uzgadnianiu obliczeń warstwy przyściennej i obliczeń przepływu nielepkiego wokół profilu z uwzględnieniem obszaru "sztucznego" oderwania.

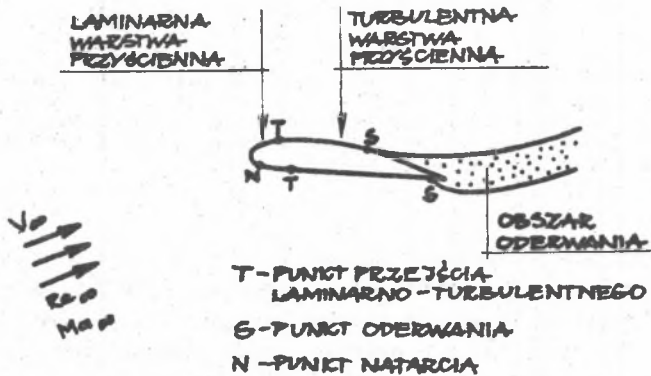
Niniejsza praca jest przeniesieniem opisanego schematu na przypadek przepływów ściśliwych, podkrytycznych. Zakłada się ponadto, że liczba Reynolda jest tak duża, że oderwaniu ulega turbulenta już warstwa przyściennea.

2. Krótki opis metody

Zgodnie z założeniem mamy do czynienia z płaskim opływem profilu płynem lepkiem i ściśliwym. Jeżeli liczba Reynolda jest dostatecznie duża, to obszar przepływu podzielić można na trzy podobszary (rys. 1):

- zewnętrzny przepływ, w którym lepkość nie odgrywa roli,

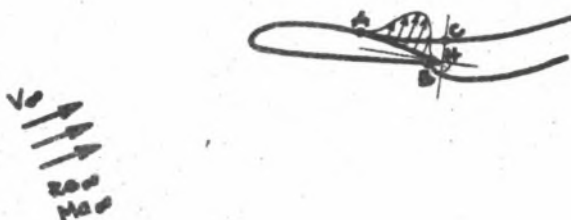
- cienką warstwę przyścienną, wokół profilu z przejściem laminarno-turbulentnym i punktem turbulentnego oderwania,
- obszar oderwania w tylnej części profilu, charakteryzujący się niskimi prędkościami i w przybliżeniu stałym ciśnieniem na profilu.



Rys. 1

Wszystkie te trzy obszary oddziałują na siebie wzajemnie. Przepływ zewnętrzny określa warstwę przyścienną i punkty oderwania. Położenie punktów oderwania określa rozmiar obszaru oderwania. Rozmiar obszaru oderwania w istotny sposób wpływa na przepływ zewnętrzny. Przedstawiona metoda składa się z wielokrotnie powtarzanych dwóch kroków:

- obliczenia przepływu nielepkiego, potencjalnego, ściśliwego, izentropowego wokół profilu, przy czym obszar oderwania modelowany jest przez "wypływ" płynu przez ściankę profilu, a położenie punktów oderwania jest znane (rys. 2). Całkowity wydatek wypływu oraz cyrkulację dobiera się tak, aby spełnić warunek stałości ciśnienia w obszarze oderwania na profilu,
- obliczenia warstwy przyściennej dla przepływu ściśliwego na podstawie poprzednio określonego przepływu zewnętrznego. Wynikiem są nowe punkty oderwania, których położenie różni się od przyjętych w kroku pierwszym. Dla tak otrzymanych nowych położań punktów oderwania powtarza się oba kroki, kontynuując to do chwili osiągnięcia zbieżności.



Rys. 2

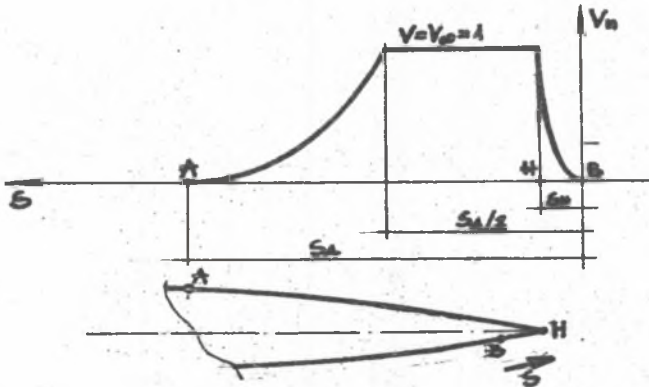
3. Przepływ nielepki

Zadanie określenia przepływu nielepkiego, bezwirowego i ściśliwego (podkrytycznego) wokół profilu rozwiązane zostało za pomocą metody podanej przez Sellsa [5]. Metodę tę uzupełniono o możliwość wprowadzenia składowej normalnej prędkości na profilu, w celu modelowania obszaru oderwania przez wypływ. Ponieważ oderwanie obejmuje krawędź spływu, warunek Kutty-Żukowskiego traci sens, co pozostawia cyrkulację jako parametr swobodny. Rozkład prędkości normalnej na profilu w strefie sztucznego oderwania przyjęto identyczny jak w pracy Jacoba [2] (rys. 3) z jedynym parametrem swobodnym, proporcjonalnym do całkowitego wydatku wypływu. Oba parametry swobodne dobiera się z warunku równości ciśnień w trzech punktach zaznaczonych na rys. 2 literami A, B, C (są to oba punkty oderwania warstwy przyściennej oraz punkt na granicy obszaru oderwania). Równości te spełnić można jedynie drogą kolejnych przybliżeń.

4. Warstwa przyścienna

Określenie warstwy przyściennej zrealizowano za pomocą algorytmu opisanego w monografii Walza [6]. Stosuje się on do laminarnej lub turbulenta, ściśliwej i płaskiej warstwy przyściennej z uwzględnieniem możliwości wymiany ciepła. Metoda ta oparta jest na dwuparametrowych związkach całkowitych i sprowadza się do odpowiedniego scałkowania dwóch równań różniczkowych zwyczajnych.

Punkt przejścia laminarno-turbulentnego określa się sprawdzając w każdym kroku spełnienie kryterium Michéla lub zakładając z góry położenie tego punktu.



Rys. 3

5. Uwagi końcowe

W chwili obecnej programy oparte na algorytmach opisanych w punkcie 3 i 4 działają poprawnie. Trudności pojawiają się przy współpracy tych programów oraz przy określaniu obszaru sztucznego oderwania. Dlatego też zrezygnowano na razie z przedstawiania wyników.

Literatura

- [1] K. Jacob; Berechnung der abgelösten inkompressiblen Strömung um Tragflügelprofile und Bestimmung des maximalen Auftriebs. ZFW 17 (1969), H. 7, S. 221-230.
- [2] K. Jacob; A method for prediction of subsonic flow around airfoil systems with separation. Fuomech Colloquium - 129. Warna - May, 1980 - collected papers.

- [3] J. Grashof: Berechnung der Druckverteilung auf Körpern mit Totwasser. ZAMM 55, T 130, 1975.
- [4] B. Mashew, F.A. Dvorak: The prediction of C_{Lmax} using a separated flow model. Journ. of American Helicopter Soc., Vol. 23, No. 2, p. 2-8, 1978.
- [5] C.C.L. Sells; Plane Subcritical Flow past a lifting airfoil. Proc. Roy. Soc. A 308, pp. 377-401 (1968).
- [6] A. Walz: Strömungs- und Temperaturgrenzschichten. Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1966.

**ЧИСЛЕННАЯ СИМУЛЯЦИЯ ОТРЫВНЫХ ОБТЕКАНИИ
КРЫЛОВЫХ ПРОФИЛЕЙ СЖИМАЕМЫМ ПОТОКОМ**

Резюме

Разработано метод для вычисления максимального коэффициента подъемной силы. Метод состоит из итеративного согласования потенциального потока и вычисления пограничного слоя.

Вычисления дозвукового потенциального потока базируются на алгоритме Селлса 5 генерализованного до моделирования истечения отрывной области.

**NUMERICAL SIMULATION OF THE PLANE SUBSONIC FLOW PAST
AN AIRFOIL WITH SEPARATION**

Summary

A numerical method has been developed to predict maximum section lift coefficient and its lift curve. The method combines iteratively potential flow and boundary layer calculation.

The subsonic potential flow computations are based on the well known Sells algorithm (5) generalized to the case of the outflow wake modeling.