

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"
POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ
Beskid Śląski, 1990

Arkadij E. Zariankin
Energomashinostroitelnyj Fakultet
Moskowskij Energeticzeskij Institut

Krzysztof J. Jesionek
Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów
Politechnika Wrocławska

ROLA SIŁ TARCIA W MODELU PRZEPŁYWU DYFUZOROWEGO

Streszczenie. W obszarze dyfuzorowym rola sił tarcia nie jest jednoznaczna i maksymalna wartość naprężeń stycznych osiągana jest tutaj nie na ściance kanału, lecz w pewnej odległości y_t od niej, przy czym ta odległość zmienia się w zależności od istniejącego wzdłużnego gradientu ciśnienia. Przedstawiony model przejścia od przepływu bezoderwanioowego do przepływu z oderwaniem warstwy przyściennej od gładkich powierzchni uwzględnia wzdłużny gradient ciśnienia jako wielkość zadaną warunkami zewnętrznymi wpływającą na wszelkie zmiany strukturalne w obszarze przyściennym i niezależną od tych zmian. Jednakże dla obszarów przepływów dyfuzorowych charakterystyczne jest bardzo silne odwrotne oddziaływanie strumienia na wzdłużny gradient ciśnienia.

1. Siły w przepływie wewnętrznym

Podczas ruchu płynu poprzez elementy instalacji przepływowej rola sił tarcia jest różna w częściach dyfuzorowych i na odcinkach konfuzorowych. Na podstawie pracy [3] przyjmuje się, że w warstwie przyściennej działają siły inercji F_b , siły tarcia F_t i siły F_p wynikające z istniejącego

wzdłużnego gradientu ciśnienia. Dla większej jasności na rys.1 przedstawione są wykresy rozpatrywanych sił w przekrojach poprzecznych warstwy przyściennej dla przypadków przepływu konfuzorowego i przepływu dyfuzorowego [1].

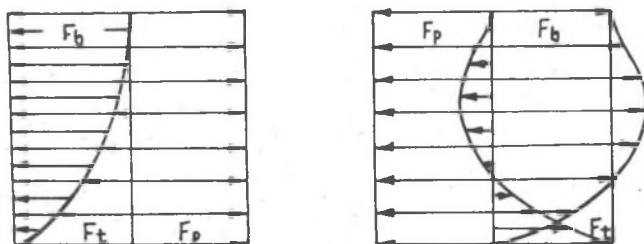
W momencie przyspieszania strumienia, t.j. gdy zachodzi warunek, że

$$dp/dx < 0, \quad (1)$$

siły tarcia i siły bezwładności działają w jednym kierunku na całym przekroju poprzecznym i w ten sposób usiłują podtrzymać wyjściowy stan strumienia, równoważąc siły związane z przyłożonym gradientem ciśnienia. Natomiast w części dyfuzorowej, kiedy

$$dp/dx > 0, \quad (2)$$

rola sił tarcia nie jest jednoznaczna.



Rys.1. Rozkłady sił w przekroju poprzecznym warstwy przyściennej dla przepływów:

- a) konfuzorowego,
- b) dyfuzorowego,

Wynika to z faktu, że maksymalna wartość naprężenia stycznego osiągana jest w tym przypadku nie na ścianie, lecz w pewnej odległości y_t od niej. Ta odległość y_t w funkcji istniejącego wzdłużnego gradientu ciśnienia zmienia się zgodnie z zależnością [1]

$$\frac{y_t}{\delta} = \frac{(\delta/\tau_0) \frac{dp}{dx}}{3(\delta/\tau_0) \frac{dp}{dx} + 6}, \quad (3)$$

gdzie: δ - fizyczna grubość warstwy przyściennej,

τ_0 - naprężenie styczne na ścianie w rozpatrywanym przekroju.

Maksymalna wartość wielkości y_0/δ , jak podano w pracy [1], wynosi 0.333.

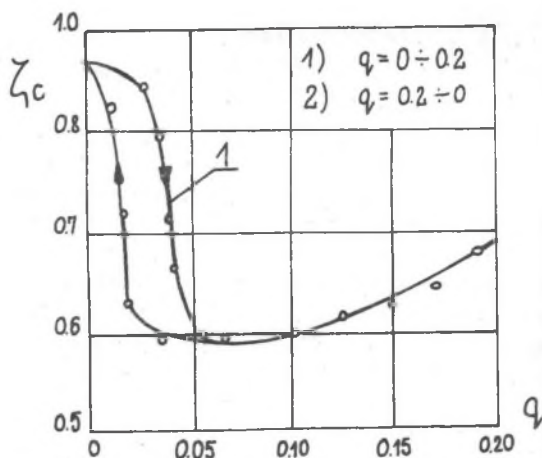
Zgodnie z powyższym siły tarcia F_t i siły bezwładności F_b przeciwdziałają hamowaniu strumienia, pociągając cząstki płynu w kierunku przepływu głównego tylko w odległości $y < y_0$ od ścianki. Przy $y > y_0$ siły podobnie jak i w kanale konfuzorowym hamują strumień, ale w dyfuzorze działają one już razem z siłami wynikającymi z istniejącego gradientu ciśnienia. To jednoczesne działanie hamujące równoważone jest tylko przez siły bezwładności. W ten sposób tam, gdzie siły inercji nie mogą zrównoważyć przyłożonego obciążenia zewnętrznego, wynikający deficyt równoważony jest siłami tarcia. Na tym polega podstawowa różnica pomiędzy ruchem płynów rzeczywistych i ciał stałych. Jeżeli dla tych ostatnich tarcie stanowi zawsze przeszkodę w ich ruchu, to w przypadku przepływu płynu w kierunku narastającego ciśnienia istnieje w pobliżu omywanej powierzchni obszar (którego rozmiary określone są zależnością (1)), gdzie skutek oddziaływania sił tarcia znajdujące się wyżej warstwy płynu pociągają za sobą (w kierunku przepływu głównego) warstwy położone niżej i posiadające mniejsze prędkości.

2. Tendencje zachowawcze w przepływie

Cały przedstawiony wyżej mechanizm opiera się na ogólnej zasadzie dążenia przez dowolny rozpatrywany system do zachowania swego stanu początkowego. Płyn w tym przypadku nie jest wyjątkiem, o czym wyraźnie świadczą dane [2] przedstawione na rys.2. Pokazano tu, jak zmienia się współczynnik strat całkowitych dyfuzora stożkowego o kącie $\alpha = 40^\circ$ i stopniu rozwarcia $n = 5$, przy powolnym powiększaniu intensywności wdmuchu przyściennego (krzywa 1), a następnie stopniowym zmniejszaniu ilości wdmuchiwanego płynu (krzywa 2). Jako argument przyjęty jest tutaj (rys.2) względny strumień q , odpowiadający stosunkowi ilości płynu kierowanego na system wdmuchu dyfuzora do ilości płynu znajdującego się w strumieniu głównym.

Początkowo wraz ze zwiększaniem wdmuchu wyjściowa wartość współczynnika strat ζ_0 prawie nie zmienia się. Oznacza to, że nie zachodzą żadne zauważalne zmiany w strumieniu głównym i utrzymuje się początkowy,

oderwaniowy charakter przepływu dyfuzorowego. Następnie przy $q = 0.05$ wielkość ζ_c gwałtownie (prawie o 40% spada i później już wzrasta w tempie stosunkowo wolnym. Ten ostry spadek strat wskazuje na znaczne zmniejszenie się obszaru oderwania. Dla zapewnienia przejścia z jednego stanu ustalonego w drugi wymagane tutaj było dostatecznie znaczące oddziaływanie zewnętrzne w postaci przyściennego wdmuchiwania tzw. aktywnej strugi płynu.



Rys. 2. Zależność współczynnika strat całkowitych dyfuzora stożkowego o kącie rozwarcia $\alpha = 40^\circ$ w funkcji wdmuchu przyściennego q

Podczas zmniejszania ilości wdmuchiwanego płynu (przejście w kierunku przeciwnym) stan ze zmniejszonym obszarem oderwania utrzymuje się w sposób stabilny aż do bardzo małych wartości wdmuchu względnego (krzywa 2 na rys. 2) i przy wartości $q = 0.015$ zachodzi nagły wzrost współczynnika strat całkowitych, aż do poziomu wyjściowego. Zgodnie z powyższym ustala się charakterystyczna pętla histerezy (widoczna wyraźnie na rys. 2), uwarunkowana przedstawionym wyżej dążeniem strumienia do zachowania swojego stanu początkowego (wyjściowego), do czego wykorzystuje on (strumień) swoje rezerwy wewnętrzne.

3. Oddziaływanie wsteczne

Przedstawiony model przechodzenia przepływu bezoderwaniałowego w przepływ z oderwaniem warstwy przyściennej od gładkich powierzchni kanału uwzględnia wzdłużny gradient ciśnienia jako wielkość zadaną warunkami zewnętrznymi, która oddziałuje na wszystkie strukturalne zmiany w obszarze przyściennym i jest jednocześnie od tych zmian niezależna. Przy takim ujęciu problemu udaje się bardziej wyraźnie prześledzić odpowiednią reakcję strumienia na oddziaływanie zewnętrzne.

Jednak dla obszarów przepływu dyfuzorowego charakterystyczne jest także bardzo silne odwrotne oddziaływanie strumienia na wzdłużny gradient ciśnienia dp/dx . Jeżeli na odcinku wlotowym kanału dyfuzorowego siły bezwładności i siły tarcia są jawnymi funkcjami istniejącego gradientu ciśnienia, to na dalszej odległości ta jawna zależność stopniowo zanika, ponieważ wielkość dp/dx staje się także zależna od tych zmian w strumieniu, które ona sama spowodowała. Zachodzi więc swoista autokorekcja wielkości dp/dx w kierunku jej zmniejszenia i zgodnie z zależnością (1) [3] w sposób automatyczny maleje także $(\delta\tau/\delta y)_{y=0}$, czyli zmniejsza się siła tarcia w obszarze przyściennym ograniczonym z góry współrzędną y_t . Ze zbliżaniem się do przekroju oderwania warstwy przyściennej zachodzi, tak jak już wyżej wspomniano, gwałtowne obniżenie naprężeń stycznych na ścianie i jednoczesny spadek siły tarcia określonej pochodną $(\delta\tau/\delta y)_{y=0}$. W tej strefie już nie warunki zewnętrzne (jak np. charakter zmienności kolejnych przekrojów kanału) określają zmiany strukturalne w warstwie przyściennej. O charakterze zmian wzdłużnego gradientu ciśnienia decyduje tu już tylko zapoczątkowany proces gwałtownego spadku sił tarcia w pobliżu ścianki. W rozpatrywanej strefie składowe meridionalne prędkości są podobnego rzędu, co składowe poprzeczne i zgodnie z tym naruszony jest warunek stałości ciśnienia w poprzek warstwy przyściennej. Jeżeli przy ścianie wielkość dp/dx zbliża się do wartości zerowej, to na zewnętrznej granicy warstwy przyściennej $y = \delta$ pozostaje ona jeszcze dodatnia.

4. Zakończenie

W celu zlikwidowania kryzysowego stanu strumienia konieczne jest oczywiście oddziaływanie w pierwszej kolejności na obszar przyścienny w kierunku zwiększenia działających tam sił tarcia (powiększenie wartości

pochodnej $\delta\tau/\delta y$). Jednym ze sposobów osiągnięcia tego celu jest przejście od powierzchni gładkich do powierzchni profilowanych, ukształtowanych w postaci systemu wzdłużnych (zgodnie z kierunkiem przepływu głównego) rowków o przekroju prostokątnym [2]. W rezultacie na poziomie występów zachodzi ostry wzrost poprzecznych gradientów prędkości, co przywraca prawie początkową wartość $\delta\tau/\delta y$. Doświadczenia opisane w pracy [2] świadczą o wysokiej efektywności takiej metody rozszerzania obszarów przepływów bezoderwanionych.

LITERATURA

- [1] Zariankin A. E.: O priedotyraschenii otrывa pograničnogo sloja. Izwiestija WUZ, Energetika, 1985, No. 8, 69-74.
- [2] Zariankin A. E., Gribin N. G., Paramonov A. N., Pindrus A. A.: Primienienie profilnykh poverchnostiej dla sniženija potier energii pri tiečienii s položitelnykh gradientom daвленija. Izwiestia WUZ, Energetika, 1988, No. 4, 68-73.
- [3] Zariankin A. E., Jesionek K. J.: Model przepływu w warstwie przyściennej. XXIX Sympozjon "Modelowanie w Mechanice", PTMIS Oddział w Gliwicach z. 57, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 6, Mechanika, z. 99, Gliwice 1990.

ЗНАЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ В МОДЕЛИ ДИФФУЗОРНОГО ТЕЧЕНИЯ

Резюме

В диффузорной области роль сил трения неоднозначна, так как максимальное значение напряжения трения достигает здесь не на стенке, а на расстоянии y_* от нее, причем это расстояние меняется в зависимости от действующего продольного градиента давления. Приведенная модель перехода

от безотрывного течения к течению с отрывом пограничного слоя от гладких поверхностей рассматривает продольный градиент давления как заданную внешними условиями величину, влияющую на все структурные изменения в пристеночной области и независимую от этих изменений.

FRICTION FORCE MEANING IN A DIFFUSER FLOW MODEL

Summary

In the diffuser range the part of friction forces is not univocal and the maximum value of tangent stresses is obtained there not at the channel wall, but at some distance y_t from it. What is more, this distance changes itself depending on existing model longitudinal pressure gradient. Presented model of conversion from non-stall flow to a flow with boundary layer separation from smooth surfaces takes into consideration longitudinal pressure gradient as a quantity being set by external conditions, influencing all structural changes in boundary region and independent of these changes. However, for the diffuser ranges it is characteristic a strong reverse influence of the stream on the longitudinal pressure gradient.