

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОМ СИММЕТРИЧНОМ ДИФФУЗОРЕ

Ю.М. Терещенко

Доктор технических наук, профессор*
Контактный тел.: (044) 406-75-93

И.А. Ластивка

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой*
Кафедра высшей математики
Контактный тел.: (044)406-78-34, 067-503-67-56

Л.Г. Волянская

Кандидат технических наук, доцент*
Контактный тел.: (044) 406-75-93

Е.В. Дорошенко

Кандидат технических наук, ассистент
*Кафедра авиационных двигателей
Национальный авиационный университет
пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03680
Контактный тел.: 068-351-30-39

У роботі представлено результати чисельного моделювання турбулентних течій в плоскому симетричному дифузори. Досліджується вплив кута розкриття дифузору на аеродинамічні характеристики

Ключові слова: дифузор, чисельний розрахунок течії

В работе представлены результаты численного моделирования турбулентных течений в плоском симметричном диффузоре. Исследуется влияние угла раскрытия диффузора на аэродинамические характеристики

Ключевые слова: диффузор, численный расчет течения

The results of numerical simulation of turbulent flows in plane symmetric diffuser are presented in the article. The influence of diffuser angle on the aerodynamic characteristics is considered

Keywords: diffuser, numerical simulation of flows

1. Вступлення

Диффузорні (розширюючіся) канали використовуються для перетворення кінетическої енергії потоку в енергію тиску. Диффузори поділяються на прямокутні (плоскі), коніческіе і кільцеві, вони можуть виконуватися з прямолинійними або криволінійними образуючими. Відомо, що для отримання мінімальних втрат повного тиску необхідно проектувати диффузорні канали без отрива потоку.

Диффузорні канали являються часто використовуваним елементом в проточних частинах різних техніеских устаток. Одним з частиних прикладів являється міжлопаточний канал компресорної решітки.

Одною з цілей удосконалення диффузорного каналу являється збільшення ступеня розширення з паралельним використанням засвідків, удосконалюючих його характеристики. Головним засвідком такого удосконалення являється вплив на отрив пограничного шару.

Диффузорні канали повинні мати форму проточної частини, забезпечуючу максимальну ефективність, то єсть безотривне течење в широкому діапазоні швидкості потоку на вході, а також мати рівномірні поля розподілення параметрів потоку

на виході. Як відомо, максимальна ефективність диффузора при одній і тій же ступені розширення може бути отримана в каналі з найменшим значенням кута розкриття. В той же час малий кут розкриття призводить до збільшення довжини каналу, то єсть до збільшення матеріалоемкості і ваги конструкції. Отрив потоку - одна з основних і найбільш складних проблем аеромеханіки. Появлення отрива призводить до різких змін тиску, швидкості і температури потоку по порівнянню з їх значеннями в умовах присоединеного течења. Робочі характеристики гідромашин (насосів, турбін, вентиляторів, компресорів) і їх елементів (диффузорів, каналів, трубопроводів), а також летательних апаратів і морських судів (самолетів, ракет, кораблів, підводних лодок і др.) непрямо зависять від отрива потоку, оскільки їх оптимальні значення досягаються в умовах, близьких до отриву. При виникненні отрива потребується більша потужність для компенсації втрат енергії, і можуть розвинути шкідливі явища типу помпажа, срыва і т.п., які призводять до руйнуванню конструкцій. Керування отривом, можна уникнути руйнівного впливу потоку повітря, зв'язаного з отривом і вихреботворенням.

Відомо багато робіт, присвячених дослідженню різних типів течій з присутнім в них

отрывом потока [1–4]. Отрыв потока и характеристики отрывных течений зависят от большого числа параметров. К таким параметрам относятся критерии подобия для течения газа, то есть числа Рейнольдса Re и Маха M , а также факторы, учитывающие неравномерность скоростей, температур и давлений [1– 4].

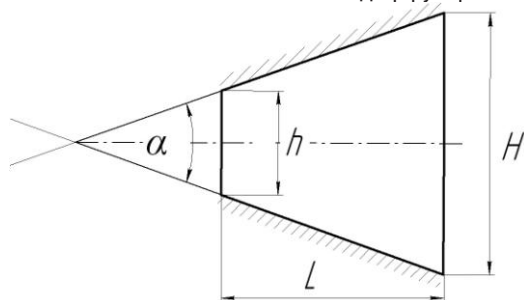
В работе ставится задача расчета с использованием численного моделирования течения в диффузорном канале с различными углами раскрытия диффузора при числах $M \leq 0,5$ с последующим сравнением расчетных и экспериментальных данных.

2. Решение задачи и анализ результатов

Основная задача расчета состоит в определении оптимальной формы диффузорного канала, обеспечивающей получение требуемых параметров и характеристик диффузора при безотрывном течении и минимуме потерь энергии при заданных значениях режимных параметров (числах Re и M) и условий на входе.

В данной работе рассматривается течение в плоском диффузоре с прямолинейной образующей. На рис.1 изображена схема диффузора и показаны характерные геометрические параметры: α – угол раскрытия диффузора; h – площадь входного сечения; H – площадь выходного сечения; L – длина диффузора.

Рис. 1. Схема плоского диффузора



Течение газа в диффузорном канале при докритических скоростях характеризуется положительными градиентами давлениями, при которых интенсивно изменяются параметры пограничного слоя и при определенных условиях имеет место отрыв потока.

Отрыв потока сопровождается резким изменением параметров потока и возникновением зоны, в которой рабочее тело в диффузорном канале движется против нарастающего давления. При определенных условиях кинетической энергии в пограничном слое вблизи отбегания стенки не хватает для обеспечения течения против нарастающего давления. В этом случае линии тока отходят от поверхности и в образовавшейся области возникает возвратное течение – образуется устойчивая вихревая зона (срывная зона).

Положение точки отрыва определяется величиной градиента давления dp/dx и профилем скорости в пограничном слое. В точке отрыва $du/dy = 0$. Любое увеличение dp/dx при неизменном профиле скорости приводит к смещению точки отрыва против потока. С другой стороны, чем более полным будет профиль скорости, то есть чем большей энергией будут обладать частицы рабочего тела непосредственно у стенки при заданном градиенте давления dp/dx , тем позднее наступит срыв.

Для характеристики аэродинамических качеств диффузоров в данной работе использовались следующие коэффициенты: коэффициент восстановления давления $\xi = \frac{P_2 - P_1}{P_1}$; коэффициент внутренних потерь $\zeta = \frac{P_1^* - P_2^*}{q_1}$; коэффициент полных потерь $\zeta_n = \frac{P_1^* - P_2}{q_1}$; коэффициент потерь с выходной энергией $\zeta_{в.с.} = \frac{q_2}{q_1}$; коэффициент полезного действия $\eta = \frac{1 - \zeta_n}{1 - \zeta_{в.с.}} = \frac{P_2 - P_1}{q_1 - q_2}$ где P_1, P_2 - статическое давление на входе и выходе соответственно; P_1^*, P_2^* - давление полного торможения потока на входе и выходе соответственно; q_1, q_2 - скоростной напор на входе и выходе соответственно.

Течение рассчитывалось при дозвуковых скоростях потока ($M \leq 0,5$), поэтому поток считался несжимаемым [4].

В качестве объекта исследования был взят плоский диффузор со следующими геометрическими параметрами: $L=92\text{мм}$, $h=40\text{мм}$, угол открытия диффузора α изменялся от 6° до 40° с шагом 2° .

Для решения поставленной задачи использовался численный эксперимент, в основе которого лежит решение осредненных уравнений Навье-Стокса, замыкающиеся моделью турбулентной вязкости. Для моделирования течения в рассматриваемой задаче использовалась одна из распространенных моделей турбулентной вязкости - SST [5]. Данная модель позволяет достаточно адекватно описывать как течение в ядре потока, так и в пограничном слое. Входная степень турбулентности принималась равной 5%.

Результаты расчета представлены на рис. 2-4 в виде зависимостей $\xi=f(\alpha), \zeta=f(\alpha), \eta=f(\alpha)$ при разных числах Маха.

Результаты расчета представлены на рис. 2-4 в виде зависимостей $\xi=f(\alpha), \zeta=f(\alpha), \eta=f(\alpha)$ при разных числах Маха.

Результаты расчета представлены на рис. 2-4 в виде зависимостей $\xi=f(\alpha), \zeta=f(\alpha), \eta=f(\alpha)$ при разных числах Маха.

Результаты расчета представлены на рис. 2-4 в виде зависимостей $\xi=f(\alpha), \zeta=f(\alpha), \eta=f(\alpha)$ при разных числах Маха.

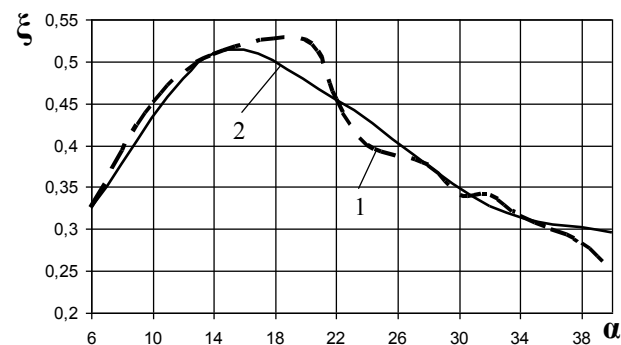


Рис.2. Зависимость коэффициента восстановления давления от угла раскрытия диффузора: 1) $M=0,44$; 2) $M=0,5$

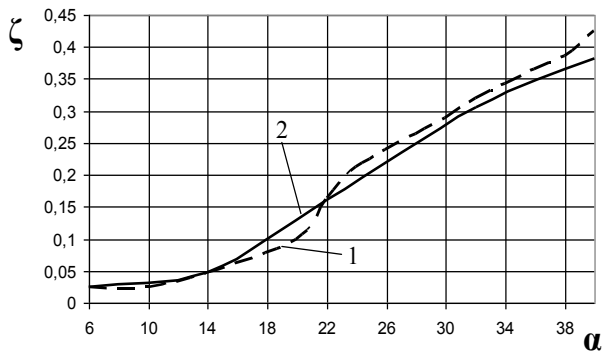


Рис.3. Зависимость коэффициента внутренних потерь от угла раскрытия диффузора: 1) $M=0,44$; 2) $M=0,5$

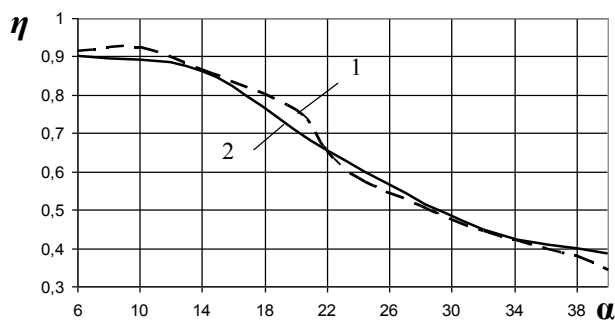


Рис.4. Зависимость коэффициента полезного действия от угла раскрытия диффузора: 1) $M=0,44$; 2) $M=0,5$

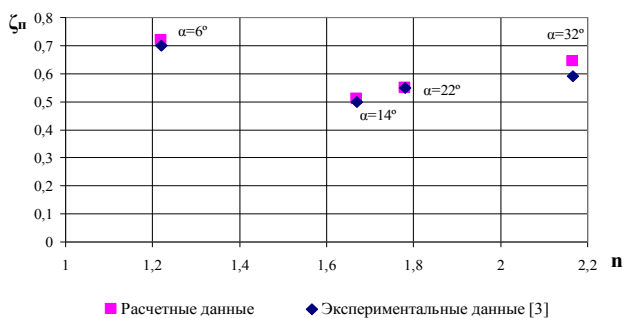


Рис.5. Зависимость коэффициента полных потерь от степени расширения диффузора n

На рис.5 представлены некоторые результаты расчетов и экспериментальных данных [3]. Сопоставление данных показывают хорошую сходимость результатов.

На рис.6 приведены результаты расчетов в виде векторного поля скоростей в расчетной области для разных вариантов исследуемых диффузоров.

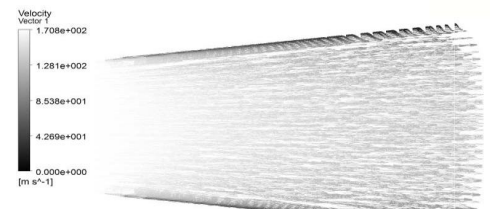
Приведенные результаты расчетов наглядно демонстрируют изменение общей картины течения в зависимости от угла α при заданном числе Маха.

Из приведенных рисунков видно, что для указанных пяти значений угла α характерно образование возвратных течений, а протяженность и структура циркуляционного течения зависят от угла α и числа Маха. Нетрудно увидеть, что при $\alpha=6^\circ$ в диффузоре

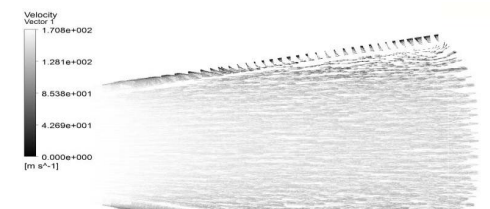
безотрывное обтекание. С ростом угла α наблюдается ярко выраженный отрыв потока с установившемся возвратно-циркуляционным течением в виде нескольких вихрей.



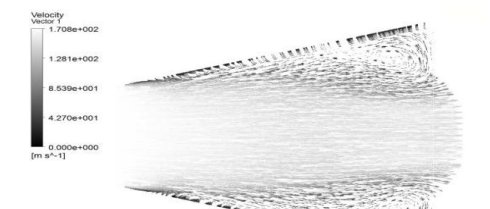
$\alpha=6^\circ M=0,5$



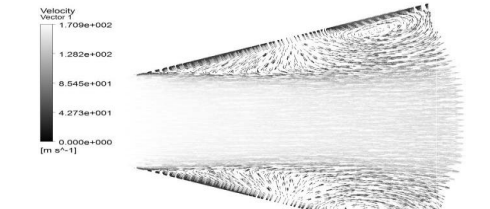
$\alpha=14^\circ M=0,5$



$\alpha=22^\circ M=0,5$



$\alpha=32^\circ M=0,5$



$\alpha=40^\circ M=0,5$

Рис.6. Расчетное векторное поле скоростей

Анализ расчетов показывает, что с ростом угла раскрытия диффузора α коэффициент восстановления давления уменьшается. Полученный результат хорошо согласуется с экспериментальными данными [3]. Наличие отрыва потока, который является причиной образования вихревых циркуляционных зон, сопровождается наличием дополнительных потерь энергии основного потока и усилением обмена количества движения между слоями воздуха, вследствие чего изменяется кинематическая структура потока.

В результате численного исследования течения в плоском осесимметричном диффузоре получены зависимости аэродинамических коэффициентов от угла раскрытия диффузора для $M=0,44\div 0,5$ и значениях чисел $Re=4\cdot 10^5\div 9\cdot 10^5$. Установлено, что при $\alpha>20^\circ$ возникает отрыв потока, сопровождающийся образованием возвратно-циркуляционного течения в виде вихрей. При увеличении угла раскрытия диффузора возрастают потери энергии и снижается КПД, точка отрыва по-

тока смещается и при $\alpha>30^\circ$ вблизи стенки диффузора образуется несколько отрывных зон.

Отрыва потока можно избежать, профилируя контур тела таким образом, чтобы обеспечить отрицательный или достаточно малый положительный градиент давления в направлении течения. Кроме того, можно управлять отрывом с помощью активных и пассивных методов.

3. Выводы

Сопоставление результатов расчета с результатами экспериментальных данных [3] свидетельствуют о достаточно хорошей сходимости, что говорит о возможности использования данного метода расчета для дальнейшего исследования течения в диффузорах.

Литература

1. Чжен П. Управление отрывом потока [Текст] / П.Чжен // Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 365с.
2. Терещенко Ю.М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров [Текст] / Ю.М. Терещенко // – М.: Машиностроение, 1987. – 168с.
3. Дейч М.Е. . Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин [Текст] / М.Е. Дейч, А.Е. Зарянкин – М: Энергия, 1980. – 384с.
4. Мигай В.К. Проектирование и расчет выходных диффузоров турбомашин [Текст] / В.К. Мигай Э.И. Гудков . – Л.: Машиностроение, 1981. – 272с.
5. Menter F.R. Two-equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications// AIAA J.- 1994. - 32, №11. - P.1299-1310