

В. Г. В ы с о т и н а (Москва, ТВП).090 **Распад вихря в длинной трубе с неглубокой выемкой.**

Целью работы являлось моделирование распада вихря в длинной трубе с неглубокой выемкой. Задачи течения жидкости в каналах с внезапным расширением, с выемками и т. д. рассматриваются в [2, 4]. Структура течения в таких каналах отличается наличием зон отрыва как внутри выемок, так и в приосевой области. Причиной появления зон отрыва в этих случаях являются геометрические параметры каналов. Распад вихря появляется вследствие закрутки потока на входе в канал. Выполнено моделирование закрученного течения воздуха в осесимметричной трубе с выемкой 0,0425 м. Использован метод Годунова [1, 3]. Постановка задачи опубликована в [5]. Результат исследования влияния отношения давлений на осесимметричный распад вихря в прямой трубе представлен в [6].

Геометрия канала (длина канала $L = 1$ м, радиус входного и выходного цилиндра 0,04 м, радиус выемки 0,0425 м) и разностная сетка (252×24 ячейки) представлены на рис. 1.

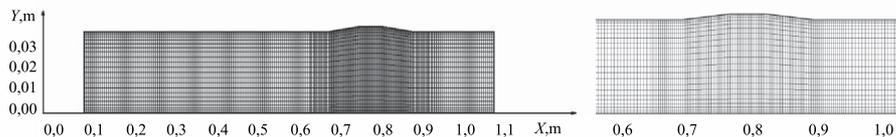


Рис. 1. Геометрия осесимметричного канала с выемкой радиуса 0,0425 м. Разностная сетка 252×24 ячейки равномерная по длине и сгущающаяся к оси и внешнему обводу канала по высоте. Увеличенный фрагмент сетки в области выемки

Рассмотрены в сравнении случаи течений без закрутки ($a = 0$) и с закруткой потока на входе ($\alpha = 70^\circ$ и 80°) для отношений давлений $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990, 0,980 \dots$. Использованы следующие параметры торможения: $P_0 = 1042399,8$ Па; $\rho_0 = 1,1985$ кг/м³; $k = 1,4$; $R_G = 287,15$ м²/(с² · К°); $Re \approx 10^4 - 10^5$.

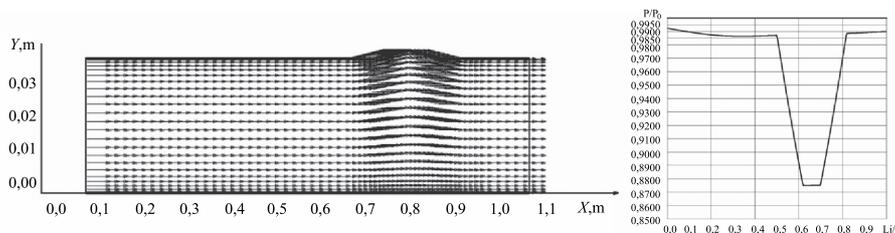


Рис. 2. Структура течения и распределения статического давления вдоль длины канала, имеющего неглубокую выемку (0,0425 м) без закрутки ($a = 0^\circ$) при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$. Расход $G = 0,6890$ кг/сек.

Структура течения воздуха — поле скоростей в осесимметричном канале (рис. 1) и распределение статического давления вдоль канала, с характерным для выемки уменьшением давления (минимальное значение 0,975) в районе выемки, для случая течения без закрутки при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$ в выходном сечении, показана на рис. 2.

На рис. 3–5 представлены поля скоростей закрученного течения воздуха в прямом канале (угол закрутки на входе $\alpha = 70^\circ$) и в канале с выемкой ($\alpha = 70^\circ$ и 80°) при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$, и соответствующие каждому случаю распределения статического давления вдоль длины канала. Во всех трех случаях имеет место быть замкнутая зона возвратного течения на входе в канал, которая является результатом распада вихря, положительного градиента статического давления на входе, возникающего вследствие закрутки потока на входе. Наличие в канале выемки привело при прочих равных условиях к распространению зоны отрыва в глубину канала. Расход воздуха изменялся незначительно и был равен соответственно 0,260, 0,2650 и 0,26540 кг/с. Увеличение значения угла закрутки также способствовало распространению границы зоны отрыва внутрь канала. При практически постоянной высоте «пузыря», его осевой размер увеличился от значения 0,3 м в прямом канале до значения 0,4 м при $\alpha = 70^\circ$ и 0,5 м при $\alpha = 80^\circ$. Во всех трех случаях величина изменения относительного давления (положительный градиент давления на входе) равна (0,990–0,992).

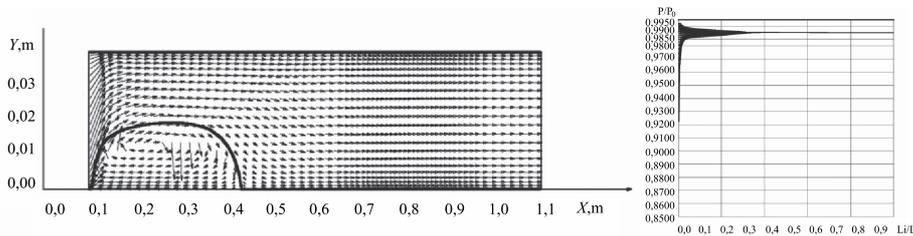


Рис. 3. Поле векторов скорости закрученного течения воздуха (угол закрутки $\alpha = 70^\circ$) в прямом канале, зона возвратного течения, и распределение статического давления вдоль длины канала при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$. Расход $G = 0,2600$ кг/сек.

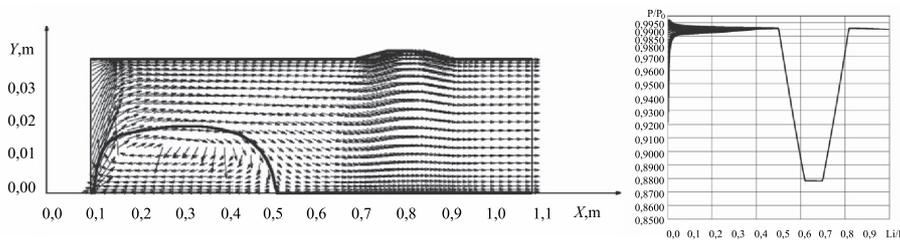


Рис. 4. Поле векторов скорости закрученного течения воздуха (угол закрутки $\alpha = 70^\circ$) в канале с выемкой 0,0425 м, зона возвратного течения, и распределение статического давления вдоль длины канала при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$. Расход $G = 0,2650$ кг/сек.

Для отношения давлений $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,980$ замкнутая зона возвратного течения на входе в канал получена при значении угла закрутки $\alpha = 70^\circ$. Зона возвратного течения и распределение статического давления вдоль канала с выемкой 0,0425 м приведены на рис. 6.

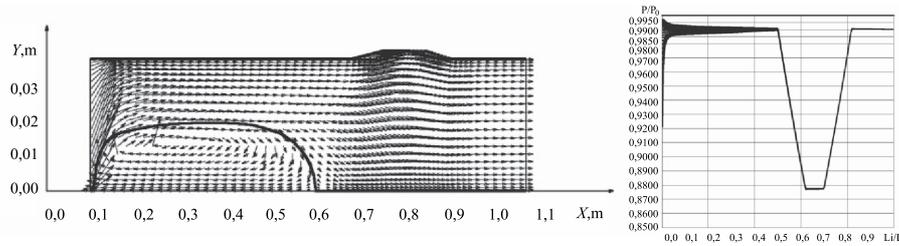


Рис. 5. Поле векторов скорости закрученного течения воздуха (угол закрутки $\alpha = 80^\circ$) в канале с выемкой 0,0425 м, зона возвратного течения, и распределение статического давления вдоль длины канала при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$. Расход $G = 0,26540$ кг/сек.

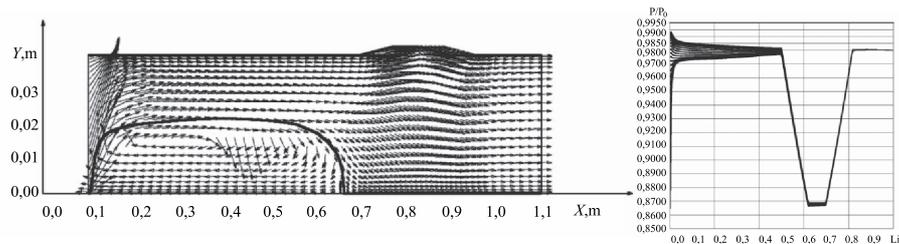


Рис. 6. Поле векторов скорости закрученного течения воздуха (угол закрутки $\alpha = 70^\circ$) в канале с выемкой 0,0425 м, зона возвратного течения, и распределение статического давления вдоль длины канала $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,980$. Расход $G = 0,3760$ кг/сек.

Сравнение закрученных течений (угол закрутки на входе $a = 70^\circ$) в канале с выемкой при отношении давлений $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$ и $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,980$ показало, что при $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,980$ расход воздуха через канал увеличился, и стал равен $G = 0,3760$ кг/сек, осевой размер зоны замкнутого возвратного течения также увеличился до значения 0,55 м. Величина изменения относительного давления на входе в канал (градиент статического давления на входе) стала равной (0,980–0,866) локальному изменению давления в канале вследствие наличия выемки.

В результате моделирования распада вихря в длинной трубе с неглубокой выемкой выяснилось, что появление «пузыря» в закрученном течении воздуха (распад вихря) возможно при отношении давлений $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,990$ и $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,980$ и углах закрутки $a = 70^\circ$ и/или 80° . Наличие неглубокой выемки способствует увеличению осевого размера «пузыря».

Подтверждение или опровержение полученных автором результатов экспериментальными и/или расчетными данными было бы весьма полезно. Вопрос получения закрученного течения с «пузырем» в каналах с глубокими выемками требует дальнейшего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годунов С. К. и др. — Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1961, т. 1, № 3, с. 1020–1050.
2. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973.
3. Дорфман Л. А. Численные методы в газодинамике турбомашин. Л.: Энергия, 1974.
4. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. М.: Мир, 1987, 588 с.
5. Высотина В. Г. — Ж. матем. моделирование, 2001, т. 13, № 10, с. 103–119.

6. *Высотина В. Г.* Численное исследование влияния отношения давлений на осесимметричный распад вихря в трубе методом Годунова. — *Обзорение прикл. и промышл. матем.*, 2012, т. 19, в. 2, с. 242–244.