

**В. Г. В ы с о т и н а** (Москва, ТВП). **Расчет закрученного течения воздуха в коротком осесимметричном канале.**

В работе, представленной данным докладом, приводятся результаты численного расчета закрученного потока воздуха методом Годунова [1, 2] в короткой трубе (диаметр 80мм и длина 1 см), являющейся входным участком длинной трубы (диаметр 80мм и длина 1 м), представленной в [3], в которой было проведено экспериментальное изучение осесимметричного распада вихря. Результаты численного моделирования осесимметричного распада вихря в длинной трубе и сравнение с экспериментом [3] показаны, например, в [4] и на рис. 1 а).

Известно, что в методе Годунова используется невязкая нетеплопроводная модель сжимаемого газа. Решается квазитрехмерная система из пяти уравнений законов сохранения, описывающая нестационарное течение осесимметричного закрученного потока, которая замыкается уравнением состояния. Количество граничных условий на входе в канал, на стенках канала и на выходе выбирается согласно характеристическим свойствам системы уравнений. Постановка задачи представлена в [5].

Целью расчета закрученного течения воздуха в короткой осесимметричной трубе (диаметр 80мм и длина 10мм) было получение распределения локальных параметров потока воздуха и их анализ. Для расчета в короткой трубе выбрана разностная сетка  $11 \times 9$  узлов (рис. 1 б)). Расчеты были проведены для следующих параметров:  $P_{\text{ВЫХ}}/P_0 = 0,990$ ;  $P_0 = 1042399,8$  Па;  $\rho_0 = 1,1985$  кг/м<sup>3</sup>;  $P_{\text{ВЫХ}} = 1034060,6$  Па;  $\kappa = 1,4$ ;  $R = 287,15$  м<sup>2</sup>/(с<sup>2</sup>·К<sup>°</sup>);  $Re \approx 10^5$ ; углы закрутки  $\alpha$  на входе в канал равны  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  и  $60^\circ$ .

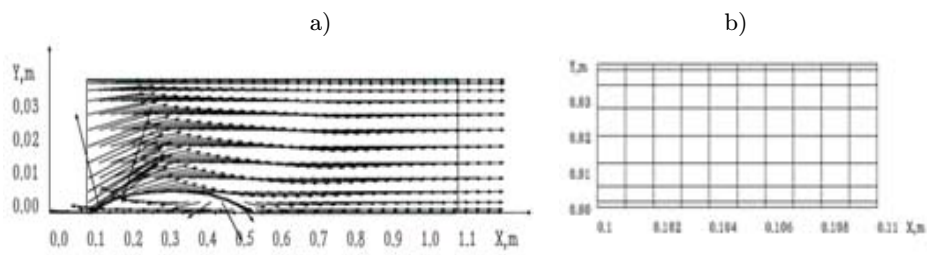


Рис. 1. а) Поле векторов скоростей, распад вихря и граница «пузыря» в осесимметричном канале радиуса 4 см и длиной 1 м. Разностная сетка  $101 \times 26$  узлов;  $P_{\text{ВЫХ}}/P_0 = 0,990$ , угол закрутки на входе  $\alpha = 49^\circ$ , расход  $G = 0,443486$  кг/с. б) Осесимметричный канал, радиус 4 см, длина 1 см. Разностная сетка  $11 \times 9$  узлов.

На рис. 2 показаны результаты расчета в отсутствии закрутки ( $\alpha = 0^\circ$ ).

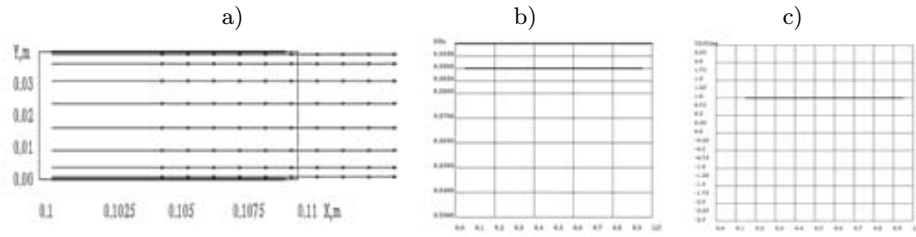


Рис. 2. а) Поле векторов скорости в отсутствии закрутки ( $\alpha = 0^\circ$ ) в канале радиуса 4 см и длиной 1 см. (рис. 1 б); расход  $G = 0,86830$  кг/с;  $Re=722702,2$ . б) Распределение давления и в) осевой составляющей скорости вдоль канала.

На рис. 3–6 показаны результаты расчетов углов закрутки  $\alpha$ , равных  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  и  $60^\circ$  соответственно: а) поле векторов скорости в канале при угле закрутки  $\alpha$ ; б) распределение давления, в) осевой составляющей скорости, д) окружной составляющей скорости вдоль канала.

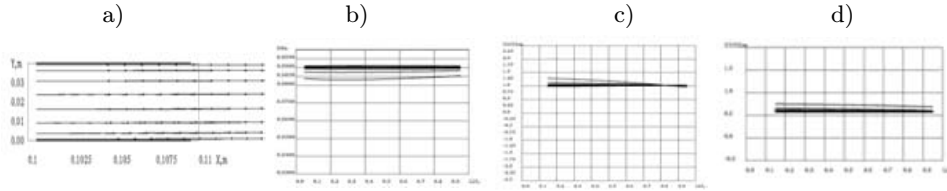


Рис. 3.  $\alpha = 30^\circ$ , расход  $G = 0,75290$  кг/с,  $Re=597092,2$ .

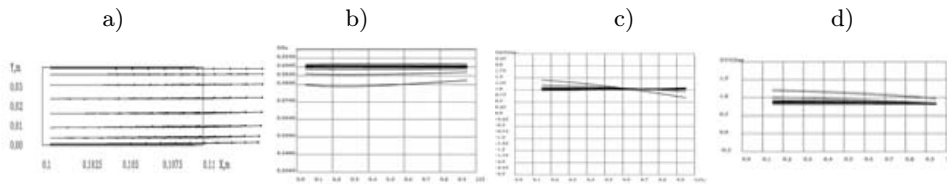


Рис. 4.  $\alpha = 40^\circ$ , расход  $G = 0,66530$  кг/с,  $Re=520345,6$ .

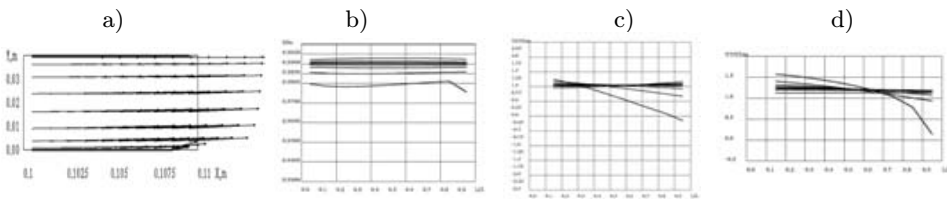


Рис. 5.  $\alpha = 50^\circ$ , расход  $G = 0,55530$  кг/с,  $Re=4352347,6$ .

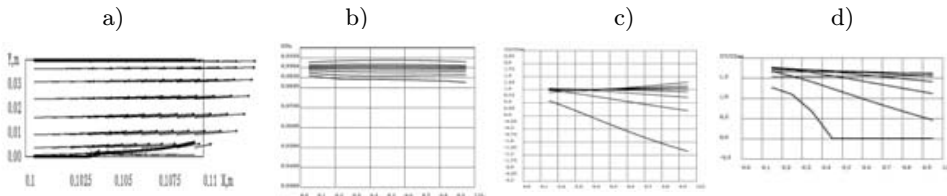


Рис. 6.  $\alpha = 60^\circ$ , расход  $G = 0,42680$  кг/с,  $Re=350133,0$ .

Увеличение угла закрутки потока приводит к уменьшению расхода воздуха через канал, уменьшению числа  $Re$ , появлению радиального градиента давления и скоростей, при угле закрутки  $\alpha = 50^\circ$  — к возникновению открытой зоны возвратного течения у нижней стенки канала, при  $\alpha = 60^\circ$  — к распространению возвратной зоны по направлению ко входу в канал. При  $\alpha = 50^\circ$  и  $\alpha = 60^\circ$  осевая составляющая скорости около нижней стенки имеет отрицательные значения, а окружная скорость становится равной нулю. Причиной этого является изменение граничного условия на том участке выходного сечения, где осевая скорость изменила направление. На участке выходного сечения, где осевая скорость отрицательная, граничные условия задаются аналогично заданию во входном сечении, в том числе задается нулевым углом закрутки.

Появление возвратной зоны в коротком канале при угле закрутки  $\alpha = 50^\circ$  согласуется с появлением «пузыря» в длинном канале при угле закрутки  $\alpha = 49^\circ$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годунов С. К. и др. Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной. — Ж. вычисл. матем. и матем. физики, 1961, т. 1, № 3, с. 1020–1050.
2. Дорфман Л. А. Численные методы в газодинамике турбомашин. Л.: Энергия, 1974.
3. Shigeo Uchida, Yoshiaki Nakamura, Masataka Ohsawa. Experiments on the Axisymmetric Vortex Breakdown in a Swirling Air Flow. — Trans. Jap. Soc. Aeronaut. and Space Sci., 1985, v. 27, № 78, p. 206–216.
4. Высотина В. Г. Расчет осесимметричного распада вихря в трубе методом Годунова. — Обзорение прикл. и промышл. матем., 2011, т. 18, в. 5, с. 620–622.
5. Высотина В. Г. Течение воздуха в осесимметричных каналах переменного сечения с выемками и кавернами. — Матем. моделирование, 2001, т. 13, № 10, с. 103–119.