

**В. Г. В ы с о т и н а** (Москва, ТВП). Расчет распада вихря в осесимметричном канале методом Годунова.

В работе, представленной данным докладом, выполнен расчет распада осесимметричного вихря в закрученном течении воздуха в трубе. Целью численного моделирования распада вихря является сравнение результатов расчета с результатами аналогичного эксперимента, проведенного авторами [1], где представлено экспериментальное изучение осесимметричного распада вихря в закрученном течении воздуха в трубе длиной 1000 мм и внутренним диаметром 80 мм. Устойчивый «пузырь» (a stable bubble) был получен при закрутке потока, соответствующей углу установки лопаток, равному  $42^\circ$ . Пузырь осесимметричного типа распада вихря имел размеры около 40 мм в длину и диаметр около 32 мм.

В расчетах геометрия трубы была задана соответствующей геометрии, представленной в [1]. Разностная сетка составляла  $100 \times 25$  ячеек ( $101 \times 26$  узлов), размер ячеек сетки уменьшался по радиусу по направлению к оси и к внешней стенке трубы (см. рис. 1).

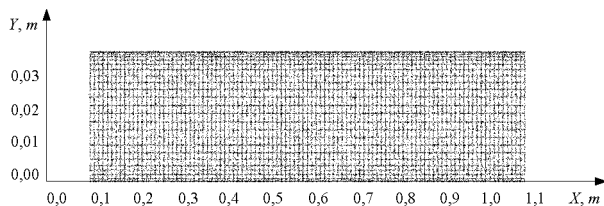


Рис. 1. Геометрия осесимметричного канала. Разностная сетка  $101 \times 26$  узлов

Численно развитая замкнутая зона возвратного течения была получена при угле  $\alpha$  закрутки потока на входе в трубу, равном  $\arctg[C_\theta(C_r^2 + C_z^2)^{-1/2}] = 56^\circ$ , что соответствует углу установки лопаток, равному  $34^\circ$ . Здесь  $C_\theta, C_r, C_z$  — окружная, радиальная и осевая составляющие вектора скорости  $\mathbf{C}$ . На рис. 2 представлены поле векторов скорости и граница замкнутой зоны возвратного течения — пузырь. При угле закрутки  $\alpha = 56^\circ$  пузырь имеет размеры 20 мм в длину и диаметр 10 мм.

Расчеты в трубе были проведены также для углов закрутки потока на входе в трубу, равных  $60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 88^\circ$ . Изменение размеров и положения пузыря в трубе в зависимости от  $\alpha$  показано на рис. 3: с увеличением угла закрутки длина зоны замкнутого возвратного течения (пузыря) уменьшалась, а диаметр увеличивался.

Все расчеты были выполнены для отношения давлений  $P_{\text{вых.}}/P_0 = 0,992$ ,  $P_0 = 1042399,8$  Па,  $\rho_0 = 1,1985$  кг/м<sup>3</sup>, где  $P_0, \rho_0$  — параметры торможения.

В процессе выполнения расчетов выяснилось, что важными параметрами для появления пузыря при прочих равных являются отношение давлений  $P_{\text{вых.}}/P_0$ , построение расчетной сетки (сгущение к оси и внешней стенке трубы) и ее размер.

Для расчета распада вихря применен метод Годунова [2, 3]. Использовалась невязкая нетеплопроводная модель сжимаемого газа. Постановка задачи представлена в [4].

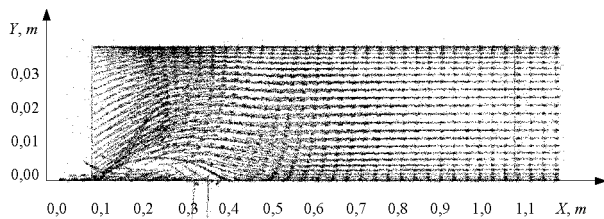


Рис. 2. Поле скоростей. Разностная сетка  $101 \times 26$ . Отношение давлений  $P_{\text{вых.}}/P_0 = 0,992$ . Угол закрутки  $\alpha = 56^\circ$ . Расход  $G = 0,320$  кг/с. Прямой вертикальной линией указана граница зоны возвратного течения (пузыря)

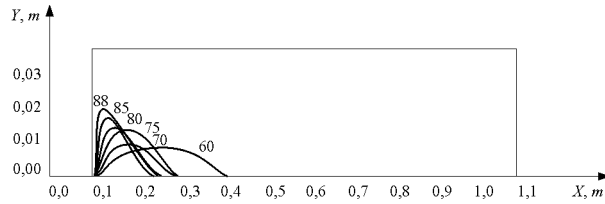


Рис. 3. Границы зон возвратного течения (пузыря) в зависимости от угла закрутки на входе:  $\alpha = 60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 88^\circ$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Uchida S., Nakamura Y., Ohsawa M.* 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.
2. *Годунов С. К., Забродин А. В., Прокопов Г. П.* Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной. — *Журнал вычисл. матем. и матем. физики*, 1961, т. 1, № 3, с. 1020–1050.
3. *Дорфман Л. А.* Численные методы в газодинамике турбомашин. Л.: Энергия, 1974.
4. *Высотина В. Г.* Течение воздуха в осесимметричных каналах переменного сечения с выемками и кавернами. — *Матем. моделирование*, 2001, т. 13, № 10, с. 103–119.