

Рис. 2. Осевая и окружная составляющие скорости вдоль канала, угол  $\alpha = 10^\circ$

Профили осевой и окружной составляющих скорости показаны на рис. 3. Профили окружной скорости представляют собой практически константу, не зависящую от радиуса, что, вообще говоря, соответствует некоторому среднему положению течения между течением по закону свободного вихря и течением по закону вынужденного вихря.

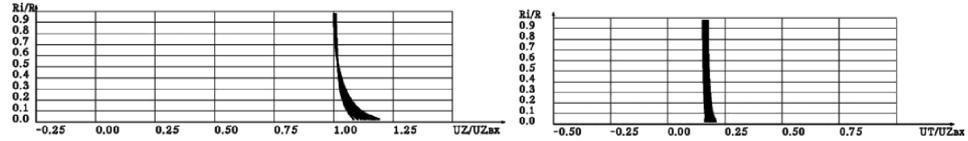


Рис. 3. Профили осевой и окружной составляющих скорости. Сечения 1-500, шаг 34, угол  $\alpha = 10^\circ$

Результаты расчетов для угла закрутки  $\alpha = 49^\circ$  показаны на рисунках 4-6. Поле векторов скорости содержит развитую зону возвратно-циркуляционного течения, «пузырь», занимающий длину от входного сечения до приблизительно 0,8 от общей длины канала. Появление «пузыря» сопровождается значительным поперечным положительным градиентом давления (см. рис. 4: расход  $G = 0,4859$  кг/с,  $U_{2вх} = 65,82$  м/с).

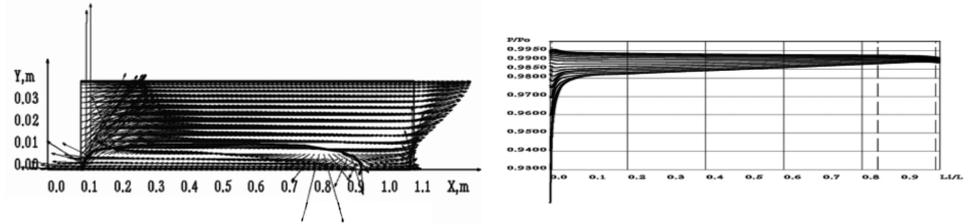


Рис. 4. Поле векторов скорости и статическое давление вдоль канала, угол закрутки  $\alpha = 49^\circ$

Распределения осевой и окружной составляющих скорости вдоль длины трубы для угла закрутки  $\alpha = 49^\circ$  показаны на рис. 5. Как осевая, так и окружная составляющие скорости, плавно изменяясь вдоль канала, имеют довольно большие поперечные градиенты. Осевая скорость от входного сечения до примерно 0,8 от общей длины канала имеет вдоль оси значения отрицательные, что согласуется с длиной «пузыря».

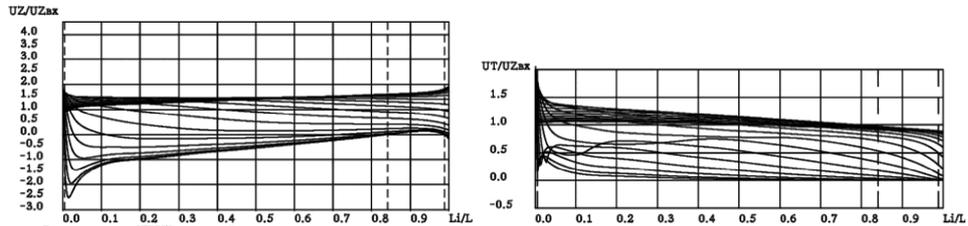


Рис. 5. Осевая и окружная составляющие скорости вдоль канала, угол  $\alpha = 49^\circ$

На рис. 6 показаны профили осевой и окружной составляющих скорости для угла закрутки  $\alpha = 49^\circ$ . Профили окружной скорости представляют собой набор кривых,

зависящих от радиуса так, что соответствуют течению с вращением жидкости как целого, т.е. имеет место течение по закону вынужденного вихря.

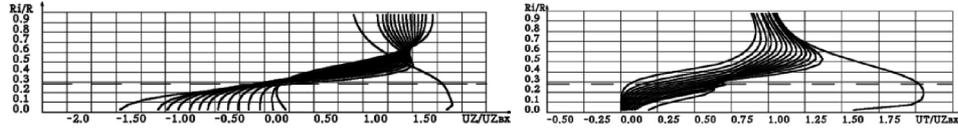


Рис. 6. Профили осевой и окружной скоростей. Сечения 1–500, шаг 34, угол  $\alpha = 49^\circ$

Профили осевой и окружной составляющих скорости для случая угла закрутки  $\alpha = 49^\circ$  сравнивались с экспериментальными данными, приведенными в [1]. Сравнение представлено на рис. 7 и 8.

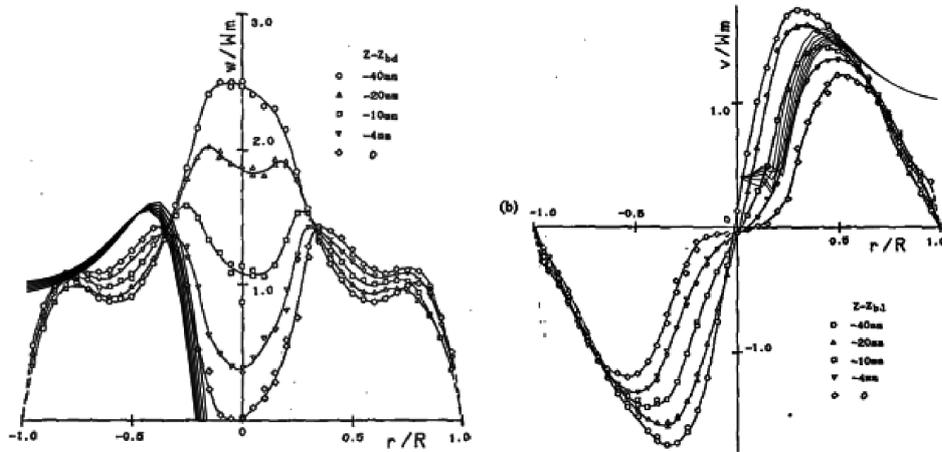


Рис. 7. Сравнение с экспериментом [1] профилей осевой и окружной скорости

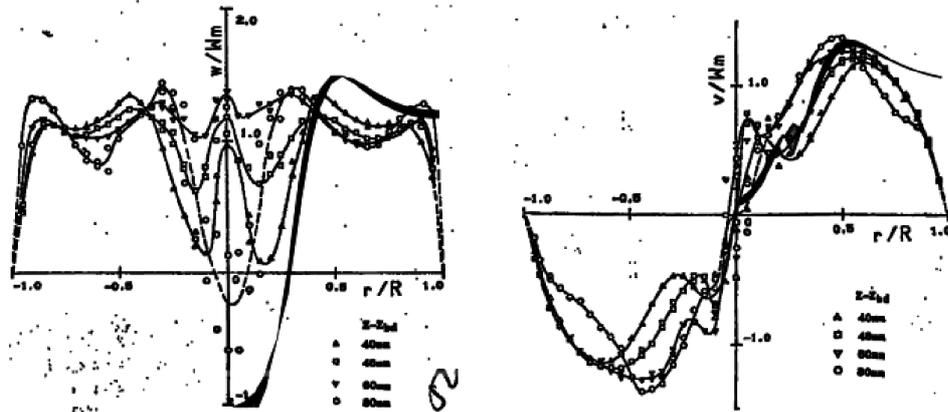


Рис. 8. Сравнение с экспериментом [1] профилей осевой и окружной скорости

Для рис. 7 сечения 7–12 из 500, для рис. 8 сечения 51–100 из 500, шаг 2. Сплошные черные линии — расчет.

Результаты сравнения показывают достаточно верное согласование данных, полученных в расчетах автора и экспериментах [10].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годунов С. К. и др. Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной. — Журнал вычислит. матем. и матем. физики, 1961, т. 1, № 3, с. 1020–1050.
2. Дорфман Л. А. Численные методы в газодинамике турбомашин. Л.: Энергия, 1974.
3. Высотина В. Г. Течение воздуха в осесимметричных каналах переменного сечения с выемками и кавернами. — Матем. моделирование, 2001, т. 13, № 10, с. 103–119.
4. Высотина В. Г. Расчет распада вихря в осесимметричном канале методом Годунова. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2011, т. 18, в. 3, с. 418–420.
5. Высотина В. Г. Расчет осесимметричного распада вихря в трубе методом Годунова. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2011, т. 18, в. 5, с. 753–755.
6. Высотина В. Г. Численное исследование влияния отношения давлений на осесимметричный распад вихря в трубе методом Годунова. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2012, т. 19, в. 2, с. 242–244.
7. Высотина В. Г. Влияние размеров и способа построения разностной сетки на численное решение задачи о распаде вихря в трубе. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2012, т. 19, в. 4, с. 546–550.
8. Высотина В. Г. Расчет закрученного течения воздуха в коротком кососимметричном канале. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2013, т. 20, в. 4, с. 533–535.
9. Высотина В. Г. О моделировании осесимметричного распада вихря в трубе методом Годунова. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2014, т. 21, в. 1, с. 4–49.
10. 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.
11. Turgut Sarpkaya. On stationary and travelling vortex breakdowns. — J. Fluid Mech., 1971, v. 45, part 3, p. 545–559.
12. Grabowski W. J., Berger S. A. Solutions of the Navie–Stokes equations for vortex breakdown. — J. Fluid Mech., 2002, v. 76, part 3, p. 525–544.