

В. Н. Посохин, Р. Г. Сафиуллин, А. Р. Фаттахов

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРЫВНЫХ ЗОН НА ВХОДЕ В ПЛОСКИЕ И ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ СТОКИ-РАСТРУБЫ

Ключевые слова: стоки-раструбы, отрывные зоны, численный расчет, пакет программ Fluent.

Численным методом с помощью программного комплекса Fluent определяются геометрические характеристики вихревых зон, образующихся при срыве потока с острых кромок плоских и осесимметричных стоков-раструбов. Полученные результаты сравниваются с имеющимися аналитическими данными.

Keywords: funnel-inlets, detachment zones, the numerical calculation, the software package Fluent

Geometrical characteristics of vortex zones formed during the breakdown of the flow from the sharp edges of planar and axisymmetric funnel-inlets are determined numerically with the help of a Fluent software. The results are compared with available analytical data.

Введение

Геометрию отрывных зон во входных элементах в виде раструбов важно знать для оценки энергоэффективности контактных устройств с увеличенной пропускной способностью, проектируемых для теплообменных процессов.

Осесимметричные и плоские раструбы рассмотрены в работе [1], где решение получено с помощью метода дискретных вихрей. Характерная картина течения на входе в раструб, полученная этим методом, показана на рис.1. В работах [2, 3] геометрия вихревых зон для плоских раструбов определяется в рамках теории течений идеальной жидкости со свободными поверхностями методом конформных отображений. Некоторые экспериментальные результаты по плоским раструбам содержатся в работе [4].

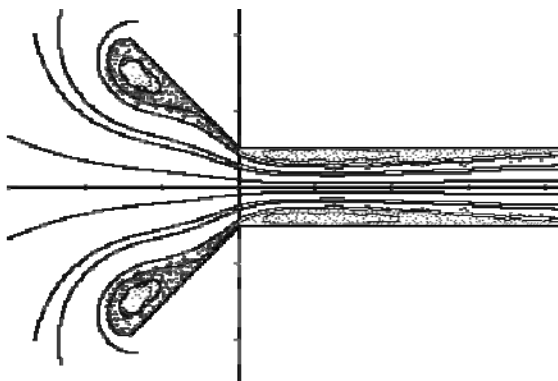


Рис. 1 - Линии тока и вихревая структура течения на входе в щелевой сток-раструб [1]

В этой статье характеристики вихревых зон на входе в плоские и осесимметричные раструбы определяются численным методом с помощью пакета программ Fluent. Система уравнений движения замыкается при помощи модели рейнольдсовых напряжений [5].

Результаты расчетов

Симметричная половина меридионального сечения расчетной области показана на рис. 2. Отрезки AB, BC, EA – проницаемые границы; CG, GF, FJ, JK – твердые стенки, EN – ось течения.

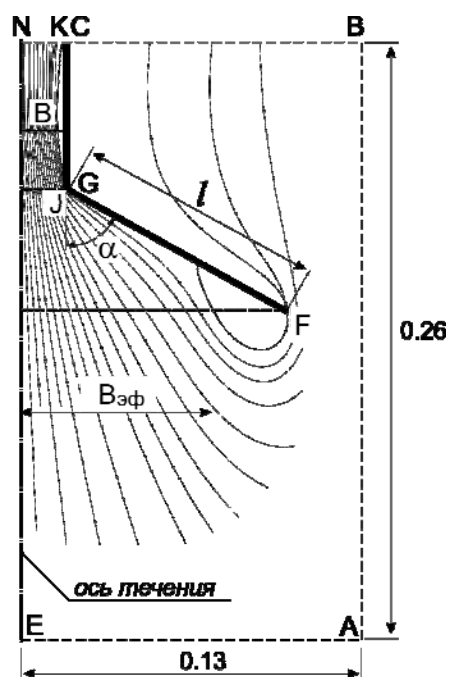


Рис. 2 - Геометрия расчетной области

В зависимости от длины раструба l могут реализоваться разные схемы течения. При большой длине образуются две последовательно расположенные вихревые зоны рис. 1. – «длинный» раструб; при малом l обе зоны сливаются в одну – «короткий» раструб.

Приняты следующие граничные условия:

- на непроницаемых границах CG, GF, FJ, JK
 $\frac{\partial v}{\partial n} = 0$ – условие непроницаемости для нормальных компонент скорости;

$\frac{\partial k}{\partial n} = 0$ – условие непроницаемости для турбулентных пульсаций скорости;

- на проницаемых границах AB, BC, EA

$\Delta p = 0$ – избыточное давление на границе;

$v = v_n$ – скорость направлена по нормали к границе.
 $k = 0$, $\varepsilon = 0$ – поток, втекающий через границы, не турбулентный.

На границе KN –

$v = v_n = \text{const}$ – скорость постоянна и направлена по нормали к границе;

$$k = 0, \varepsilon = 0.$$

На оси течения $NE - \frac{\partial v}{\partial n} = 0$.

Здесь $\frac{\partial}{\partial n}$ – производная по направлению нормали к границе, k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций; ε – удельная диссипация кинетической энергии пульсаций. На участке KN скорость постоянна и равна $v = 30.56$ м/с.

Принимались следующие значения физических параметров: плотность воздуха $\rho = 1.225$ кг/м³, кинематическая вязкость воздуха $\nu = 17.89 \cdot 10^{-6}$ м²/с, число Рейнольдса $Re = \frac{v \cdot 2B}{\nu} = 44400$. Значения геометрических параметров раструба: безразмерная длина раструба $\bar{l} = \frac{l}{B} = 1 \div 5$; угол $\alpha = \frac{1}{6}\pi, \frac{1}{4}\pi, \frac{1}{3}\pi, \frac{5}{12}\pi$.

На рис. 3 приведены характерные линии тока вблизи плоских и осесимметричных раструбов при различных $\bar{l}$. Из рисунка видно, что качественно картины течений подобны. Однако, размеры отрывной зоны в круглом раструбе существенно меньше, чем в плоском. Как следствие – больше эффективный размер входа $\bar{B}_{эф}$.

На рис. 4 результаты численного расчета сопоставляются с данными, полученными аналитическими методами для плоских и осесимметричных раструбов. Эффективный размер $\bar{B}_{эф}$ стока-раструба увеличивается с ростом длины раструба и угла его раскрытия. У круглых раструбов при прочих равных условиях $\bar{B}_{эф}$ на 16÷20% больше, чем у плоских. При больших углах раскрытия рост $\bar{B}_{эф}$ у круглых раструбов происходит интенсивнее.

Из рисунка 4 также видно, что для углов в диапазоне $\alpha = 30^\circ \div 75^\circ$ расхождение в результатах определения величины $\bar{B}_{эф}$ разными расчетными методами составляет менее 10%. Это подтверждает справедливость использованных в работах [1,2] моделей.

Полученные результаты могут быть использованы при конструировании входных участков различных технологических аппаратов. Аппроксимация данных расчета по программе FLUENT дает:

- для плоских раструбов

$$\bar{B}_{эф} = \ln\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)(0.26\bar{l} - 0.014) + 0.86\bar{l} + 0.75;$$

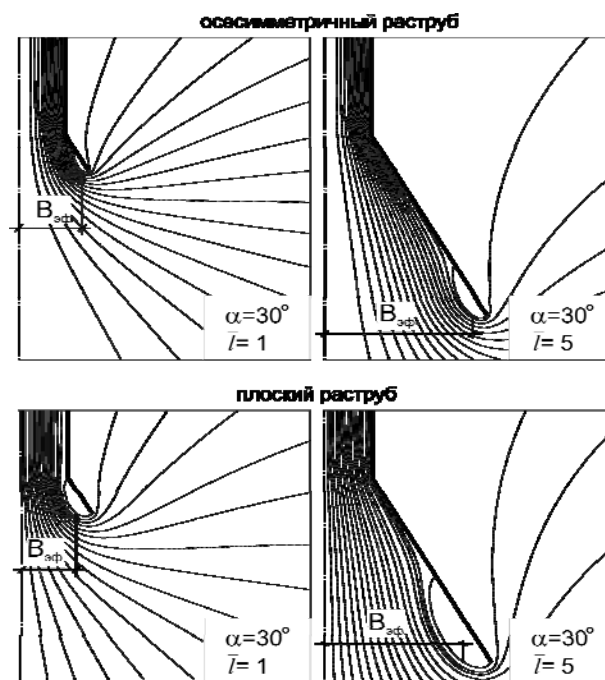


Рис. 3 - Линии тока течений вблизи плоских и осесимметричных раструбов

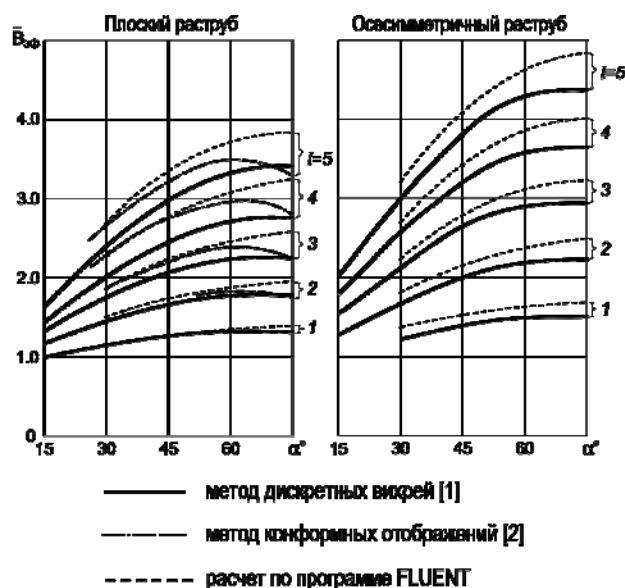


Рис. 4 - Сравнение значений $\bar{B}_{эф}$ для плоских и осесимметричных раструбов, полученных разными расчетными методами

- для осесимметричных раструбов

$$\bar{B}_{эф} = \ln\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)(0.37\bar{l} - 0.021) + 1.137\bar{l} + 0.86.$$

Литература

1. Логачев К.И. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы методом дискретных вихрей/ К.И. Логачев, А.И. Пузанок, В.Н. Посохин// Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2004. - № 7-8. – с.61-69.
2. Посохин В.Н. О форме отрывных зон на входе в раструб./ В.Н. Посохин, Н.Б. Салимов, Р.Г. Сафиуллин//

- Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2003. - №3-4. – с. 39-47.
3. Посохин В.Н. Расчет скоростей подтекания к щелевому стоку-раструбу./ В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин// Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - № 22. – С. 41-46.
4. Посохин В.Н. Экспериментальное изучение вихревых зон в потоках вблизи всасывающих щелевидных отверстий./ В.Н. Посохин, М.В. Катков // Известия вузов. Авиационная техника. – 2001. – №1 – с.61-63.

5. Versteeg H.K., Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics/ The finite volume method// Longman house, Burnt Mill, Harlow Essex CM20 2YE, England.

© **В. Н. Посохин** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. теплогазоснабжения и вентиляции Казанского ГАСУ; **Р. Г. Сафиуллин** – канд. техн. наук, доц. каф. каф. теплогазоснабжения и вентиляции КГАСУ, safiullin_rinat@mail.ru; **А. Р. Фаттахов** – асс. той же кафедры, fattahov82@mail.ru.