

ЭКОЛОГИЯ

Аверкова О. А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ВХОДЕ ВО ВСАСЫВАЮЩИЕ КАНАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОГО ПЕРЕМЕННОГО*

olga_19572004@mail.ru

Разрабатывается метод математического моделирования отрывных течений на входе во всасывающие каналы с использованием метода конформных отображений и метода Н.Е. Жуковского. Построенная математическая модель исследуется на достоверность и адекватность.

Ключевые слова: отрывные течения, всасывающие каналы, метод Н.Е. Жуковского, теория струй идеальной несжимаемой жидкости.

Компьютерное моделирование пылегазовых потоков методом дискретных вихрей [1-10] позволяет исследовать нестационарные вихревые течения в аспирационных системах и даже определять турбулентные характеристики течения. Но как показали вычислительные эксперименты, этот метод дает достаточно грубые результаты при определении детерминированных границ всасываемой струи. Метод Н.Е. Жуковского [11-13] в этом случае оказывается предпочтительней, поскольку дает нужную точность для определения коэффициента сжатия струи на бесконечности и соответственно коэффициента местного сопротивления.

Целью данной работы является разработка метода математического моделирования отрыва потока на входе во всасывающий канал с использованием метода Н.Е. Жуковского и теории функций комплексного переменного. Физическая область течения изображена на рис.1. Параметрическое решение задачи имеет вид:

$$z = \frac{\delta_\infty}{\pi} \int_0^T \frac{\sqrt{t+\sqrt{b}}}{\sqrt{t-b}} \cdot \frac{\sqrt{t+1}}{(t-1)^{3/2}} dt + i; \quad (1)$$

$$v \equiv u_x - iu_y = \frac{\sqrt{T-b}}{\sqrt{T+\sqrt{b}}} \cdot \frac{\sqrt{T-1}}{\sqrt{T+1}},$$

дающее возможность построить гидродинамическую сетку ($\psi = 0..1 = const$; $\varphi = -\infty..+\infty = const$) и поле скоростей

$$u_x = \text{Re}(v); \quad u_y = -\text{Im}(v).$$

Здесь и далее линейные размеры отнесены к полувысоте щели B , а скорости – к скорости u_∞ ; δ_∞ - безразмерная полувысота струи при $t \rightarrow \infty$ (в точке D), $T = m + n \cdot i$ - произвольная точка верхней полуплоскости $\text{Im}(t) > 0$ и соответствующая ей в силу (1) точка физической полуплоскости $\text{Im}(z) > 0$, в которой мы определяем проекцию вектора скорости \vec{u} .

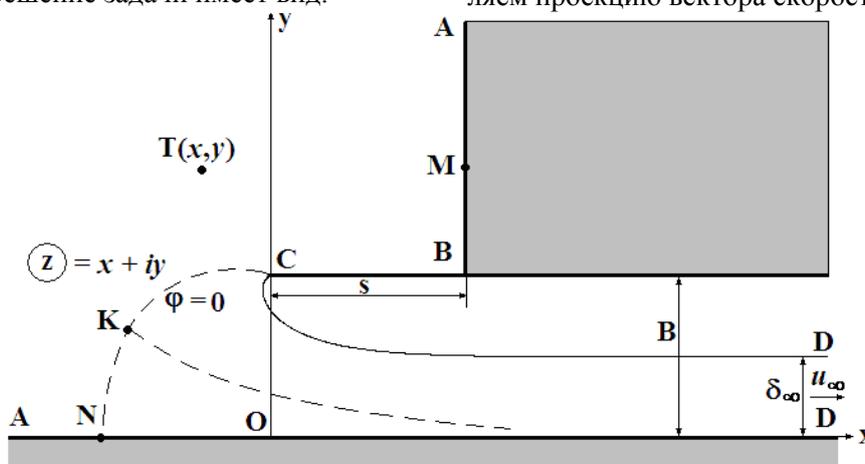


Рис. 1. Физическая область течения на входе в щелевую неплотность с козырьком

В точке M , лежащей на луче BA , имеет место максимальная скорость равная (в силу того, что в этой точке $T \equiv \sqrt{b}$, $b = 0..1$)

$$u_M = u_y = - \frac{1-b^{1/4}}{1+b^{1/4}}.$$

Не сложно определить координаты этой

$$x_M = S = \frac{\delta_\infty}{\pi} \int_0^{b-\varepsilon} \frac{\sqrt{t+\sqrt{b}}}{\sqrt{b-t}} \cdot \frac{1+\sqrt{t}}{(1-t)^{3/2}} dt; \quad y_M = 1 + \frac{\delta_\infty}{\pi} \int_{b+\varepsilon}^{\sqrt{b}} \frac{\sqrt{t+\sqrt{b}}}{\sqrt{b-t}} \cdot \frac{1+\sqrt{t}}{(1-t)^{3/2}} dt; \quad \varepsilon \rightarrow 0. \quad (2)$$

Полувисота струи в бесконечности δ_∞ определяется по формуле:

$$\delta_\infty = \frac{\pi}{\pi + E(b)},$$

где $E(b)$ - число, зависящее от параметра b

$$E(b) = (1 + \sqrt{b}) \int_0^\infty \frac{\sqrt{v} dv}{\sqrt{b+v} (1+v)^{1.5}}.$$

точки в физической плоскости:

С учетом полученного результата на основании (2) можем записать следующее соотношение:

$$S = \frac{1}{\pi + E(b)} \int_0^{b-\varepsilon} \frac{\sqrt{t+\sqrt{b}}}{\sqrt{b-t}} \cdot \frac{1+\sqrt{t}}{(1-t)^{1.5}} dt,$$

связывающее длину выступа (козырька) с параметром b .

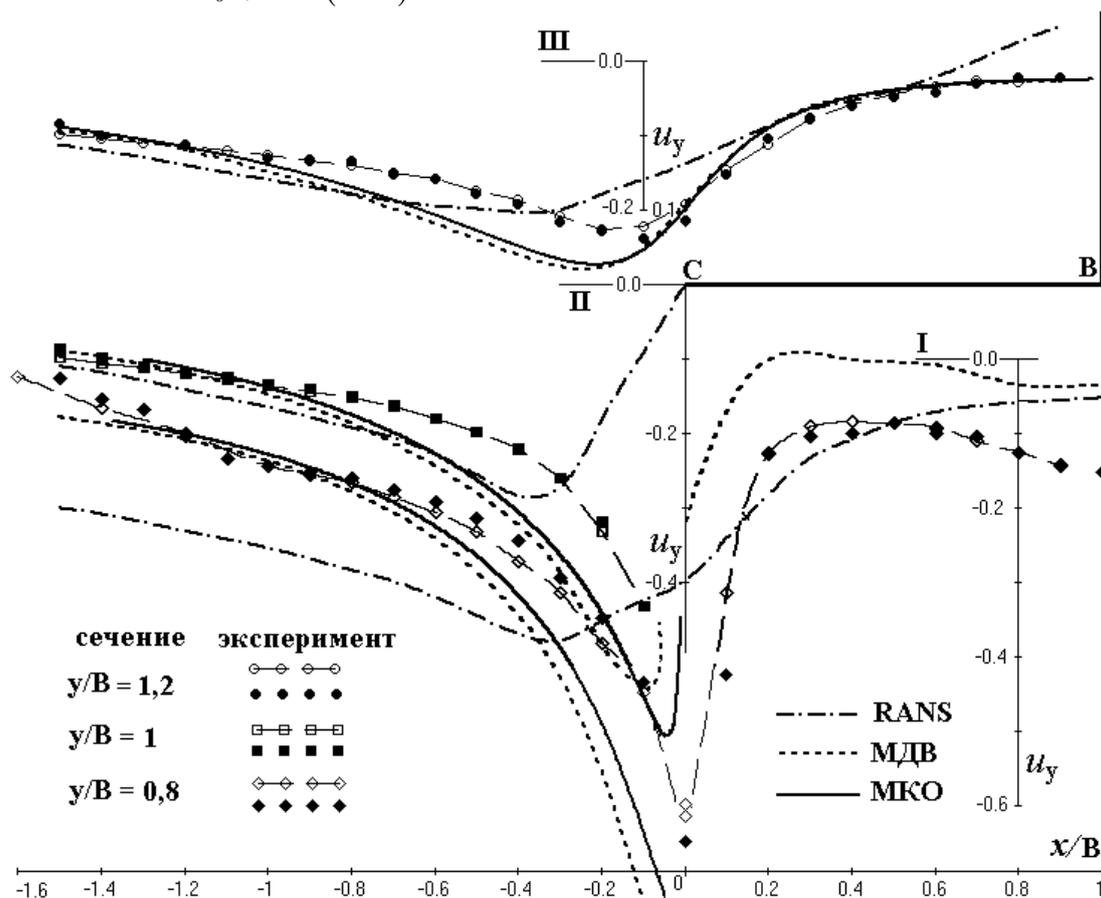


Рис.2. Изменение вертикальной составляющей скорости вблизи входного отверстия всасывающей щели, оснащенной козырьком единичной длины

Теоретическое описание поля скоростей моделями отрывных течений с достаточной для практики точностью описывает характер изменения составляющих скоростей, кроме областей вблизи отрыва струи и на ее свободной границе (CD). Здесь имеет место развитая турбулентность и в силу этого, по-видимому, нарушается потенциальность течения. Так в вертикальных сечениях канала вблизи линии CD замечен четко выраженный характер пограничного слоя перемешивания с резким изменением горизонтальной составляющей скорости и заметным отклонением экспериментальных величин от

теоретических по мере удаления замерных сечений от входа воздуха в канал. Теоретическая величина u_x превышает опытную в силу того, что истинная толщина выше теоретической δ . Мертвая зона (между CB и CD) заполнена движущимся потоком, хотя и с малыми скоростями. Естественно, что в этом случае скорость в границах теоретической струи отрыва будет меньше.

Что касается качественной стороны, экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими. Продольные скорости увели-

чиваются в каждом сечении к границе CD , зона максимума (как и линия CD) удаляется от козырька. Мертвая зона заполнена потоком, скорость которого значительно меньше скорости в границах струи (между линиями CD и AD).

В горизонтальных сечениях наибольшее отклонение от теоретических наблюдается также вблизи точки срыва, хотя качественный характер изменения вертикальной составляющей скорости хорошо согласуется с опытными: наибольшая величина u_y , как по опытным, так и по теоретическим исследованиям (методами МКО и МДВ) имеет место в области точки C (рис.2).

Установлено, что степень сжатия поперечного сечения струи в канале определяется инерционностью потока воздуха, подтекаемого вдоль плоских поверхностей на входе во всасывающую щель. Чем больше путь разбега этого потока, тем выше скорость его срыва и тем больше проявляется эффект отрыва струи на входе воздуха в отверстие. Характер изменения относительной скорости срыва струи практически совпадает с экспериментально установленной закономерностью изменения коэффициента местного сопротивления в зависимости от длины выступов, примыкающих к отверстию.

**Исследования выполнены при поддержке Совета по грантам Президента РФ (код проекта НШ-588.2012.8) и гранта РФФИ №12-08-97500-р_центр_а.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Логачев, К.И.* Расчет течений на входе в отсосы-раструбы методом дискретных вихрей/ К.И. Логачев, А.И. Пузанок, В.Н. Посохин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2004. – № 7-8. – С. 61-69.
2. *Логачев, К.И.* Закономерности изменения дисперсного состава пылевых аэрозолей в аспирационном укрытии/ К.И. Логачев, О.А. Аверкова, В.Ю. Зоря // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9. – С. 46-52.
3. *Аверкова, О.А.* Особенности поведения аэрозольных частиц в аспирационном укрытии стандартной конструкции/ О.А. Аверкова, В.Ю. Зоря, К.И. Логачев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 11. – С. 34-36.
4. *Логачев, К.И.* Расчет течения вблизи круглого всасывающего патрубка/ К.И. Логачев, В.Н. Посохин // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2004. – № 1. – С. 29-32.
5. *Логачев, И.Н.* Характеристика пылевых выбросов при перегрузках сыпучих материалов / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 63-67.
6. *Логачев, К.И.* Численное моделирование пылевоздушных течений вблизи вращающегося цилиндра-отсоса / К.И. Логачев, А.И. Пузанок // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 9. – С. 63-70.
7. *Логачев, К.И.* Компьютерное моделирование пылегазовых потоков в пульсирующих аэродинамических полях/ К.И. Логачев, А.И. Пузанок, В.Ю. Зоря // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2006. – Т. 7. – № 1. – С. 195-201.
8. *Логачев, К.И.* Численное исследование поведения пылевой аэрозоли в аспирационном укрытии/ К.И. Логачев, И.Н. Логачев, А.И. Пузанок // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 65-71.
9. *Логачев, И.Н.* О прогнозировании дисперсного состава и концентрации грубодисперсных аэрозолей в местных отсосах систем аспирации/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2002. – № 9. – С. 85-90.
10. *Аверкова, О.А.* К вопросу о моделировании пылегазовых потоков в аспирационном укрытии/ О.А. Аверкова, В.Ю. Зоря, И.Н. Логачев, К.И. Логачев // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2009. – Т. 10. – № 1. – С. 371-376.
11. *Посохин, В.Н.* К расчету течения вблизи щелевидного отсоса-раструба/ В.Н. Посохин, Н.Б. Салимов, К.И. Логачев, А.М. Живов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2002. – № 10. – С. 81-84.
12. *Логачев, И.Н.* Моделирование отрывных течений вблизи всасывающей щели/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев, В.Ю. Зоря, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2010. – Т. 11. – № 1. – С. 43-52.
13. *Логачев, И.Н.* Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2010. – Т. 11. – № 1. – С. 68-77.