

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЯЗКИХ ОТРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ВХОДЕ ВО ВСАСЫВАЮЩИЕ КАНАЛЫ

olga\_19572004@mail.ru

Решается задача об отрывном течении на входе в целевые неплотности аспирационного укрытия с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса и неразрывности. Производится сравнение полученных расчетных данных с натурным экспериментом.

**Ключевые слова:** отрывные течения, всасывающие каналы, осреднение по Рейнольдсу.

Использование модели идеальной несжимаемой жидкости плодотворно сказалось на решении класса задач об отрыве потока на входе во всасывающие каналы [1-12], что необходимо для проектирования эффективных аспирационных укрытий сниженной энергоемкости [13]. Компьютерное моделирование трехмерных течений несжимаемой вязкой жидкости было осуществлено в [14]. Представляет интерес исследовать, как различаются результаты решения задачи при снижении ее размерности на единицу и определение достоверности полученных ре-

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}),$$

где все величины скорости  $u$ , давления  $p$ , плотности  $\rho$  осредненные по времени. Напряжения

результатов путем сравнения расчетных данных с данными натурального эксперимента.

Целью работы является исследование отрыва вязких течений несжимаемой жидкости на входе во всасывающие каналы неплотностей аспирационных укрытий.

Для моделирования методом RANS использовались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса и неразрывности [14]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0,$$

Рейнольдса  $-\rho \overline{u'_i u'_j}$  определяются в рамках стандартной  $k - \varepsilon$  модели турбулентности:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \varepsilon + \tau_{ij} \frac{\partial(u_i)}{\partial x_j},$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k},$$

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \rho \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij},$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon},$$

$$C_{1\varepsilon} = 1,44; C_{2\varepsilon} = 1,92; C_\mu = 0,09; \sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,3.$$

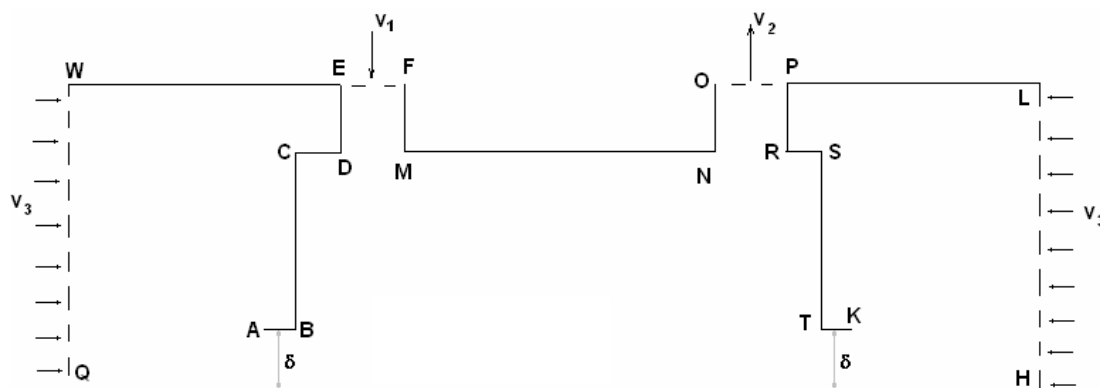


Рис. 1. Расчетная область течения

Для расчета использовались следующие геометрические и кинематические параметры (рис.1):  $CD = RS = 0,1\text{м}$ ;  $DM = NR = EF = OP =$

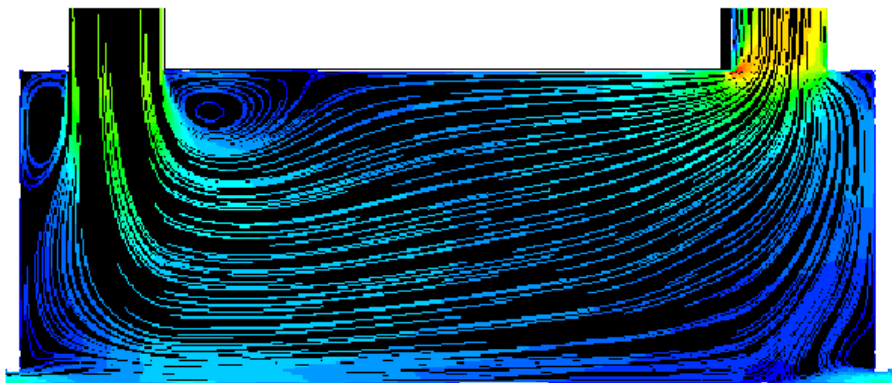
$0,2\text{м}$ ;  $MN = 1,2\text{м}$ ;  $CB = ST = 0,63\text{м}$ ;  $\delta = 0,03\text{м}$ ;  $AB = TK = 0,03\text{м}$ ;  $WE = PL = 0,8\text{м}$ ;  $ED = FM =$

$ON = PR = 0,14\text{м}$ ;  $WQ = LH = 0,8\text{м}$ ;  $v_1 = 2\text{м/с}$ ;  $v_2 = 2,24\text{м/с}$ ;  $v_3 = 0,03\text{м/с}$ .

Для корректного сравнения величин скорости при сравнении разными методами, получен-

ные значения скорости домножались на коэффициент  $0,52/0,8$ . Картина течения показана на рис. 2.

а



б

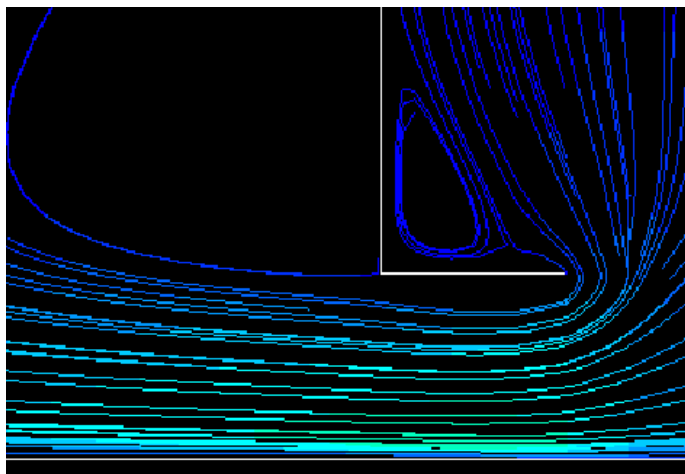


Рис. 2. Линии тока: а – в укрытии; б – на входе в щелевую неплотность

Из построенных линий тока видно, что при данных расчетных параметрах не наблюдается центрального вихря (рис.2 а), что можно объяснить малыми скоростями течений во всасывающем отверстии аспирационного укрытия. Отрыв потока на входе в щелевые неплотности аспирационных укрытий (рис.2 б) осуществляется не так явно, как в эксперименте и при расчетах с использованием теории функций комплексного

переменного и метода Н.Е.Жуковского (рис.3). Еще одно из отличий состоит в отсутствии резкого перепада продольной составляющей скорости при подходе к козырьку всасывающего канала. Однако расчеты с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса и неразрывности имеют удовлетворительное согласие с экспериментом в среднем (рис.3).

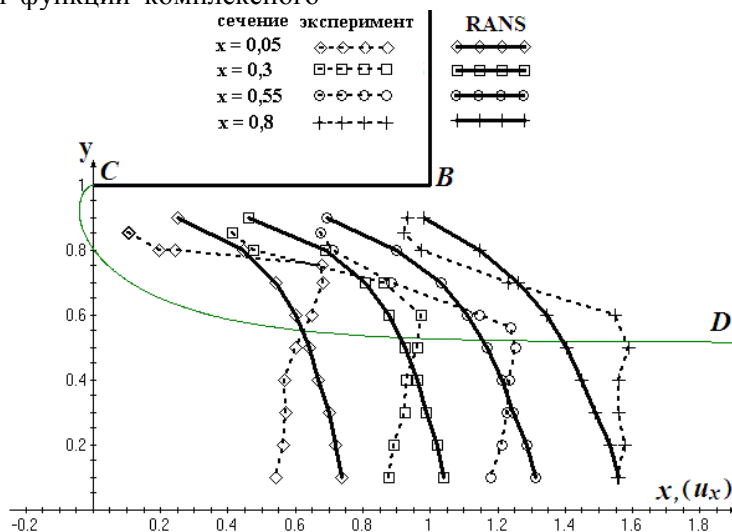


Рис. 3. Изменение продольной составляющей скорости воздуха по высоте плоского канала, оснащенного козырьком единичной длины

Проведенные исследования показывают, что для адекватного описания отрыва потока не обязательно привлекать сложные модели, а вполне достаточно использовать методы математического моделирования, построенные в рамках теории идеальной несжимаемой жидкости.

*\*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, 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.
6. *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.
7. *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.
8. *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.
9. *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.
10. *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.
11. *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.
12. *Логачев, И.Н.* Математическое моделирование струйного течения воздуха при входе в плоский канал с козырьком и непроницаемым экраном/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2010. – Т. 11. – № 1. – С. 160-167.
13. *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.
14. *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.