

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВОДО-ВОДЯНОГО ЭЖЕКТОРА

И.С. Ласуков

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Lais_komfort@mail.ru

ANALYSIS OF WATER-TO-WATER EJECTOR

I.S. Lasukov

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr. M.A. Sheremet
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: Lais_komfort@mail.ru

Numerical analysis of water-to-water ejector has been carried out. The governing steady two-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes equations with energy equation, written in dimensional variables, have been solved using ANSYS software. Results have been obtained for different sizes of diffuser.

Струйные эжекторы в силу надежности и простоты конструкции широко используются в энергетике, аэрокосмической, нефтегазовой и химической отраслях промышленности [1, 2]. Вместе с тем, небезосновательно считается, что основным недостатком струйных эжекторов является низкий коэффициент полезного действия. Причиной чему служат гидравлические потери в сопле, камере смешения и диффузоре. В связи с этим наиболее эффективным методом оптимизации структуры составных элементов эжектора с целью, например, исключения формирования отрывных зон или минимизации потерь, обусловленных образованием возвратных течений, является использование подходов вычислительной гидродинамики и теплопереноса на основе использования Computational Fluid Dynamics-моделирования [3, 4].

Целью настоящей работы является компьютерное моделирование процессов гидродинамики и теплопереноса в водо-водяном струйном эжекторе в плоском приближении с использованием программного комплекса ANSYS [3, 4].

Проводилось исследование стационарного течения вязкой несжимаемой теплопроводной жидкости в эжекторе, представленном на рис. 1. Через входное сечение T_1 подается рабочая (эжектирующая) среда, которая, вследствие формирования зоны пониженного давления в сужающейся части устройства, подсасывает эжектируемую среду, расположенную в зоне сечения T_2 .

Геометрические параметры эжектора были взяты из каталога эжекторов Mazzei [5]. На первом этапе с

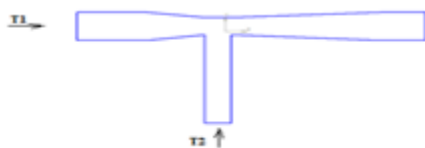


Рис. 1. Исследуемый эжектор

помощью модуля GAMBIT [3, 6], была создана геометрия и построена неравномерная конечно-элементная сетка. Далее в модуле FLUENT [4, 7] были определены параметры исследуемой среды, подключены необходимые уравнения, описывающие стационарный процесс конвективного турбулентного теплопереноса в струйном эжекторе. Для

изучения отмеченного процесса были использованы уравнения Рейнольдса, где в качестве замыкающей модели турбулентности рассматривалась k - ϵ модель [8]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[(v + \nu_t) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(v + \nu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right], \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[(v + \nu_t) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v + \nu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right], \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(a + \frac{\nu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(a + \frac{\nu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right], \quad (4)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + P_k - \epsilon, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + c_{1\epsilon} P_k \frac{\epsilon}{k} - c_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k}. \quad (6)$$

Здесь x, y – координаты декартовой системы координат; t – время; u, v – составляющие скорости в проекции на оси x, y соответственно; p – давление; ρ – плотность; ν – кинематический коэффициент молекулярной вязкости; ν_t – кинематический коэффициент молярной (турбулентной) вязкости; T – температура; a – коэффициент теплопроводности; $Pr_t = \nu_t / a_t$ – турбулентное число Прандтля; a_t – коэффициент турбулентной теплопроводности; k – кинетическая энергия турбулентности; ϵ – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности; $P_k = -\overline{u_i' u_j'} \partial u_i / \partial x_j$ – слагаемое, характеризующее порождение турбулентности за счет сдвиговых напряжений; $-\overline{\rho u_i' u_j'}$ – рейнольдсовы напряжения.

Во входных сечениях и на выходе задавалось давление среды, на поверхности исследуемого объекта рассматривались условия прилипания для скорости и условия адиабатичности для температуры. Также на входе задавались интенсивность турбулентности и гидравлический диаметр.

В модуле FLUENT [4, 7] для аппроксимации конвективных слагаемых во всех уравнениях применялась схема QUICK Леонарда (схема локально 3-го порядка точности применяется для ортогональных сеток и при высоком их качестве позволяет получить дискретизации 3-го порядка точности вдоль линии тока), для диффузионных слагаемых – центральные разности. Для совместного определения полей скорости и давления применялась процедура SIMPLE. Полученные разностные уравнения разрешались на основе итерационных методов. Используемые численные схемы и алгоритмы были протестированы на модельной задаче – турбулентное течение в плоском канале за обратным уступом. В результате было получено достаточно хорошее согласование с результатами других авторов [9].

При проведении расчетов во входном сечении T_1 задавалась температура 333 К, в сечении T_2 – температура 293 К. Влияние силы тяжести не учитывалось.

В результате были проведены исследования, отражающие влияние размеров диффузора на структуру течения. На рисунке 2 показаны линии тока при минимальной длине диффузора, расход = 0.0263 кг/с.

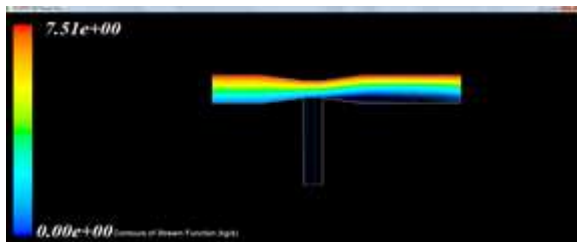


Рис. 2. Линии тока

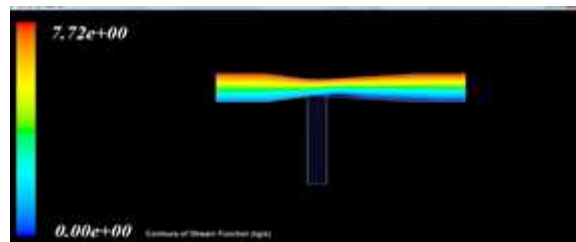


Рис. 3. Линии тока при более плавном диффузоре

Представленные распределения отражают формирование возвратного течения в зоне соединения расширяющейся и прямоточной частей, что характеризует неблагоприятные условия функционирования эжектора. При этом коэффициент полезного действия эжектора снижается. Увеличивая длину участка смешения, что отражается на более плавном переходе потока, приводит к следующему распределению линий тока (рисунок 3). При данной длине участка (при более плавном расширении диффузора), в зоне смешения вихреобразование не наблюдается.

Можно сделать вывод, что в данном расчете оптимальными размерами эжектора являются точки с координатами (в миллиметрах): (0.0,0.0), (0.0,18.6), (30,18.6), (30,0), (55,15), (55,3.6), (66.4,3.6), (66.4,15), (55,-54.7), (66.4,-54.7), (130,18.6), (130,0), (150,18.6), (150,0).

Необходимо отметить, что избыточное давление на входе – 0,174 МПа, в нижнем патрубке избыточное давление равно 0, т.е. давление равно атмосферному. В результате проведенных расчетов были установлены оптимальные размеры расширяющейся части эжектора, позволяющие предотвратить отрыв пограничного слоя и образование вихрей, что снижает потери давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
2. Александров В.Ю., Климовский К.К. Оптимальные эжекторы (теория и расчет). – М.: Машиностроение, 2012. – 136 с.
3. Батулин О.В., Батулин Н.В., Матвеев В.Н. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального программного комплекса Fluent. – Самара: Изд-во СГАУ, 2009. – 172 с.
4. Батулин О.В., Батулин Н.В., Матвеев В.Н. Расчет течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса Fluent. – Самара: Изд-во СГАУ, 2009. – 151 с.
5. Эжекторы Mazzei. Каталог оборудования. – СПб: Триотехника, 2011. – 29 с.
6. GAMBIT. Tutorial Guide. – Lebanon, by Fluent, Incorporated, 2004. – 630 с.
7. FLUENT. Tutorial Guide. – Canonsburg, Ansys Inc., 2011. – 143 с.
8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
9. Кузьминов А.В., Лапин В.Н., Чирков Д.В. Метод расчета турбулентных течений несжимаемой жидкости на основе двухслойной (k-ε)-модели // Вычислительные технологии. – 2001. – Т. 6, № 5. – С. 73–86.