

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В П-ОБРАЗНОМ КОЛЕНЕ

### NUMERICAL SIMULATION OF FLOW IN A SHARP 180° DUCT BEND

Озеров А. О., Зиганшин А. М.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань

Ozerov A. O., Ziganshin A. M.

Kazan state university of architecture and engineering, Kazan

**Аннотация:** В работе приводятся результаты моделирования течения в П-образном вентиляционном отводе с помощью методов вычислительной гидродинамики (*CFD*). По итогам сравнения результатов, получаемых с использованием различного сочетания моделей, с известными экспериментальными данными о сопротивлении такого отвода, построена наиболее физически адекватная компьютерная модель течения. Получены очертания отрывных зон, знание которых позволит создать энергоэффективный П-образный отвод.

**Abstract:** The paper presents the results of flow simulations in a 180° duct bend using computational fluid dynamics methods. Based on the results of comparison of the results obtained using a different combination of models with known experimental data on the resistance of such an elbow, the most physically adequate numerical model was obtained. The outlines of separation zones have been found out. This knowledge will allow to create an energy-efficient 180° duct bend.

**Ключевые слова:** П-образный отвод, численные исследования, отрывная зона, сопротивление.

**Key words:** 180° duct bend, numerical simulation, separation zone, resistance.

Каналы с разворотом на 180° часто используются в технике вообще и в теплотехнике и инженерных системах в частности – теплообменные аппараты, трубопроводы и воздуховоды систем

отопления и вентиляции и многое другое. Исследования течения в таких каналах проводятся как экспериментально [1], так и численно [2]. Однако чаще всего конструкция ограничивается разворотом по дуге окружности, в то время как существуют ситуации и с «острым» (резким) разворотом (рис. 1), в том числе и при близком расположении в системе вентиляции двух «острых» отводов на небольшом расстоянии друг от друга. В данном случае возникает и вопрос о взаимном влиянии двух отводов друг на друга. В [3] проведено такое численное исследование для Z-образного отвода. Сопротивление П-образного отвода определено экспериментально и приведено в [4] в зависимости от длины «полки» – расстояния между отводами. Численно возможно подробно рассчитать характеристики такого течения, в том числе и очертания вихревых зон (ВЗ), которые являются одной из причин потерь давления в отводе. Зная эти очертания возможно снизить сопротивление такого отвода [5–7], и энергопотребление всей вентиляционной системы в целом.

В работе приводятся результаты решения тестовой задачи о П-образном отводе (рис. 1).

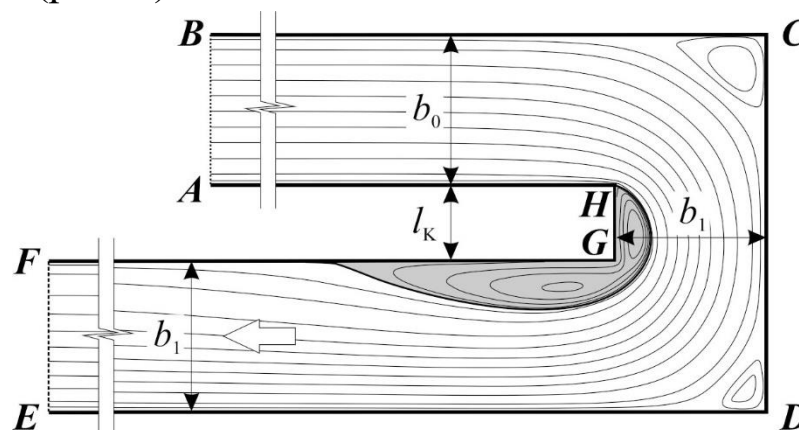


Рис. 1. Геометрия и характерные линии тока

Геометрия задачи строится в препроцессоре *Gambit*, и разрешается максимально крупной расчетной сеткой, чтобы впоследствии иметь возможность ее измельчать (адаптировать) в необходимых областях. Такая первоначальная сетка содержала 162 ячейки, с максимальным размером – 50 мм. После импорта сетки в процессор *Fluent* устанавливались граничные условия: **AB** – избыточное давление на входной границе равно нулю, **FE** –

равномерное распределение скорости  $v_x = -20$  м/с, остальные границы – твердые непроницаемые стенки. (рис. 1).

Задача решалась в двухмерной постановке, с использованием двух моделей турбулентности – «стандартной»  $k$ - $\varepsilon$  ( $SKE$ ) и модели «Рейнольдсовых напряжений» ( $RSM$ ). Кроме этого, для расчета течения в пристеночной области использовались два варианта пристеночного моделирования – «стандартные пристеночные функции» ( $SWF$ ) и «расширенное пристеночное моделирование» ( $EWT$ ).

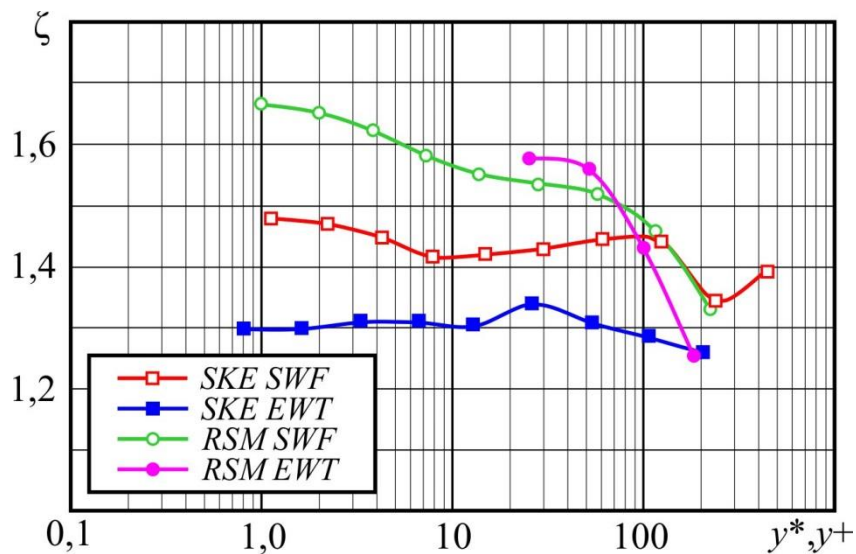


Рис. 2. Верификация задачи о П-образном колене

Для устранения, так называемой, «сеточной зависимости» проводится последовательная адаптация ячеек расчетной сетки: вначале во всей области, а затем несколько раз вдоль твердых границ – для лучшего разрешения сеткой пограничного слоя. Последняя (сетка с наиболее измельченными ячейками) задача имела размер минимальной ячейки –  $2,44 \cdot 10^{-5}$  мм, а их общее количество в расчетной области – 1,34 млн. шт. В качестве контролируемого параметра используется коэффициент местного сопротивления (КМС) и на рис. 2 показано изменение КМС П-образного колена при измельчении сетки, а также при использовании разного сочетания моделей турбулентности и пристеночных функций. Там же нанесено значение, указанное в известном справочнике [4].

Степень измельчения сетки характеризуется безразмерным параметром  $y^*$  и  $y^+$ . В руководстве [8] указано, что для модели  $SWF$

наиболее адекватные результаты получаются, когда  $30 < y^* < 100$ , а для  $EWT - 1 < y^+ < 5$ .

На рис. 2 видно, что при измельчении сетки значение сопротивления канала с П-образным отводом перестает зависеть от размеров ячеек, т. е. устраняется «сеточная зависимость» численного решения. Особенно хорошо это видно для сочетания моделей  $SKE EWT$ , кроме того, это сочетание дает результаты наиболее близкие к известным экспериментальным данным [4], где указано значение КМС в этом случае равным 1,13. В более ранних исследованиях течений в каналах с отводами и тройниками [9, 6], также указывается на наиболее адекватное моделирование с использованием  $k-\varepsilon$  модели турбулентности, но в сочетании со «стандартными» пристеночными функциями.

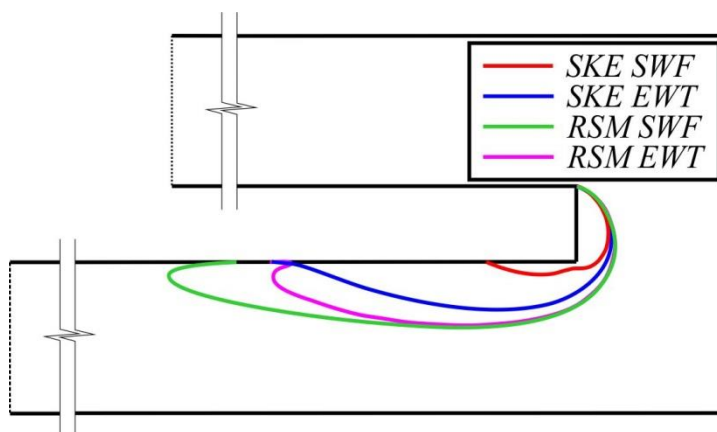


Рис. 3. Очертания вихревой зоны, при срыве с внутренней острой кромки в канале с П-образным отводом

На рис. 3 представлены результаты визуализации вихревых зон (ВЗ), образующихся при срыве потока с острых кромок.

При визуализации получено, что очертания ВЗ в последних адаптациях (самые мелкие ячейки) совпадают между собой. На рис. 3 показаны очертания ВЗ последних адаптаций для разных сочетаний моделей. Видно, что они существенно различаются между собой, и однозначный ответ о пригодности того или иного сочетания моделей может дать только сравнение с достоверным экспериментом. Тем не менее, с определенной долей уверенности, для задачи с П-образным отводом, можно использовать сочетание  $SKE EWT$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mylaram N. K., Idem S. Pressure Loss Coefficient Measurements of Two Close-Coupled HVAC Elbows // HVAC&R Res. 2005. Vol. 11. № 1. P. 133–146.
2. Salehi M., Idem S., Sleiti A. Experimental determination and computational fluid dynamics predictions of pressure loss in close-coupled elbows (RP-1682) // Sci. Technol. Built Environ. 2017. Vol. 23. № 7. P. 1132–1141.
3. Debnath R., Bhattacharjee S., Bengal W. A comparative study with flow visualization of turbulent fluid flow in an elbow // Int. J. Eng. Sci. Technol. 2010. Vol. 2. № 9. P. 4108–4121.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1992. 672 с.
5. Соединительный фасонный элемент с профилирующими вставками : пат. 2604264 Рос. Федерация : МПК F16L 43/00, МПК F16L 25/14 / Зиганшин А.М., Алещенко И.С., Зиганшин М.Г. и др. ; заявитель и патентообладатель: Казанский гос. арх.-строит. университет. – № 2014137755/06 ; заявл. 17.09.14 ; опубл. 10.12.16, Бюл. № 34. – 13 с.
6. Зиганшин А. М., Беляева Е. Э., Соколов В. А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 1. С. 108–116.
7. Зиганшин А. М., Бадыкова Л. Н. Численное моделирование течения в профилированном вентиляционном тройнике на слияние // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 6. С. 41–48.
8. Ansys Fluent 6.3 Documentation / 12.11.1 Near-Wall Mesh Guidelines. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node518.htm#sec-guidelines-wf> (дата обращения: 03.01.2017).
9. Зиганшин, А. М. Численное моделирование течения в двухмерном тройнике/ А. М. Зиганшин, В. Н. Посохин, Л. Н. Бадыкова, Г. А. Гимадиева // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 5 . С. 89–95.

УДК 625.711.69

## **ПРИНЦИПЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА В ГОРОДЕ МАГНИТОГОРСК**