

Особенности перераспределения температурных потоков в вихревой трубе при изменении размера холодной диафрагмы

Михайленко К.И.

Институт механики им. Р.Р.Мавлютова УФИЦ РАН, Уфа

Вихревые трубы с момента их «повторного открытия» Хилшем в 40-е годы прошлого века неизменно до настоящего времени интересуют многих исследователей. Такое внимание к вихревому эффекту определяется целым рядом факторов. Главный и основной заключается в том, что вихревая труба представляет собой чрезвычайно простое устройство, не имеющее каких либо движущихся частей и для работы которой требуется лишь наличие сжатого воздуха. Результат работы вихревой трубы — это в первую очередь поток охлажденного воздуха. Таким образом основное назначение вихревых труб, — это простой по конструкции холодильник. Другой фактор, вызывающий интерес к рассматриваемому эффекту, определяется тем фактом, что так и не существует принятой всеми теории, описывающей фундаментальные основы наблюдаемой температурной стратификации потока воздуха [1, 2]. По этой причине модификация вихревых труб для достижения наибольшей эффективности по какому-либо параметру (температура, расход, давление) значительно усложнена. Поиск эффективной конфигурации требует последовательных натурных или вычислительных экспериментов по каждому из возможных параметров [3–6].

В представленной работе рассказывается о результатах вычислительного моделирования влияния размера холодной диафрагмы противоточной вихревой трубы на температуру холодного воздуха. В качестве среды моделирования выбран пакет OpenFOAM, позволяющий организовывать решатели для вычислительной области, дискретизированной по методу конечного объема. Так как в канале вихревой трубы реализуются околосвуковые скорости и возможно наличие ударных волн, использован предназначенный для таких случаев стандартный решатель sonicFOAM, позволяющий моделировать околосвуковые течения однофазного сжимаемого флюида. Данный решатель позволяет варьировать используемую модель турбулентности, поэтому рассмотрены решения, полученные в раках $k-\epsilon$ и $k-\omega$ моделей.

При подготовке конечно-объемной сетки значительное внимание было уделено организации в достаточной мере равномерной ортогонализированной сетки [7]. В случае $k-\omega$ модели турбулентности выделялись пристеночные слои. Для сокраще-

ния времени вычислений сетка строится лишь для одного сектора цилиндра размером 90° . Таким образом, организуется симметричная вихревая труба с четырьмя каналами ввода сжатого воздуха (один задан, остальные подразумеваются). На соответствующих границах сектора ставится периодическое граничное условие cyclic.

Остальные граничные условия соответствуют необходимым условиям на стенке, входе и выходе для каждой из моделей турбулентности.

Использованные турбулентные модели существенно отличаются по времени вычислений не в пользу модели $k-\omega$.

Полученные результаты по зависимости температуры на холодной диафрагме от ее диаметра несколько отличаются для каждой из использованных моделей турбулентности, однако в обоих случаях можно сделать вывод, что наименьшая температура достигается при соотношении диаметра основного канала вихревой трубы к диаметру холодной диафрагмы $D/d \approx 2$.

В дальнейшем необходимо верифицировать полученные результаты сравнением с соответствующим экспериментом для выбора наиболее соответствующей реальным данным модели турбулентности.

Список литературы

- [1] Eiamsa-Ard S., Promvong P. Review of Ranque-Hilsch effects on vortex tubes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. V. 1. Pp. 1822–1842.
- [2] Subudhi S., Sen M. Review of Ranque-Hilsch vortex tube experiments using air // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 52. Pp. 172–178.
- [3] Борисоглебский И.К., Метусова М.В., Михайленко К.И. Зависимость эффекта Ранка-Хилша от геометрии холодного выхода // Многофазные системы. 2018. Т. 13, № 3. С. 52–58.
- [4] Михайленко К.И. Зависимость перераспределения температур в вихревой трубе от геометрии завихрителя // Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН. 2017. Т. 12, № 2. С. 174–179.
- [5] Mikhaylenko C.I. Vortex tube modelling: outlet parameter dependencies of cold air production // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1158, No. 3. 032032.
- [6] Adilullin B.R., Mikhaylenko C.I. Influence of the channel length of a vortex tube on the air temperature separation // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1268. 012001.
- [7] Михайленко К.И. К моделированию вихревой трубы: подготовка гексагональной сетки для вычислительных экспериментов в среде OpenFOAM // Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН. 2016. Т. 11, № 1. С. 112–118.