УДК 621

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА РАНКА-ХИЛЬША ПРИ ПОМОЩИ CFD АНАЛИЗА

© 2014 Я.А. Коркодинов, А.М. Ханов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

#### Поступила в редакцию 16.03.2014

В работе проводится обзор CFD исследований вихревого эффекта, выполненных другими авторами. Рассматривается гипотеза о формировании холодильного цикла. Проводится численный анализ двухмерной модели вихревой трубки. На основании анализа делаются выводы об обоснованности проведения двухмерного анализа, а также о правомерности применения гипотезы о возникновении холодильного цикла. Проводится краткое исследование влияния геометрии трубки на ее эффективность.

Ключевые слова: вихревой эффект, температурное разделение, CFD анализ, холодильный цикл, вихревая трубка

Вихревая трубка– это простое механическое устройство, которое разделяет поток сжатого газа на холодную и горячую части [1]. Она состоит из одного или нескольких входных отверстий, вихревой камеры, выходов для холодного и горячего газа и самой трубки (рис. 1) [2, 3]. Несмотря на большое количество работ по данной тематике, более подробный обзор которых был проведен в [2], все еще не было дано единое всеобъемлющее объяснение для процессов, происходящих в вихревой трубке. К сожалению, данные разных авторов, полученные как экспериментально, так и теоретически, расходятся достаточно сильно. С другой стороны интенсивное развитие программных пакетов для CFD анализа делает возможным численное исследование эффекта Ранка-Хильша [4].



Рис. 1. Устройство вихревой трубки

Краткий обзор CFD исследований эффекта. Несмотря на то, что эффект Ранка-Хильша стал исследоваться при помощи CFD анализа относительно недавно, за это время уже было опубликовано достаточно большое количество работ. Так, в [5] с помощью численных методов исследовалось поведение газа в вихревой трубе. Вычисления проводились для установившегося (стационарного) характера течения. Для анализа использовалась осесимметричная модель, для моделирования турбулентности использовалась стандартная k-є модель. В качестве

Коркодинов Ярослав Александрович, аспирант. Email: svarogjk1989@rambler.ru

Ханов Алмаз Муллаянович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование машин и технология обработки материалов». E-mail: mtf@pstu.ru граничных условий на входе задавался массовый расход. Для оценки эффективности температурного разделения использовалось понятие доли холодного потока  $\mu_c$ 

$$\mu_c = \frac{m_c}{\dot{m}_{in}} \tag{1}$$

Данная величина является часто используемой в исследованиях этого эффекта и находится как отношение массового расхода на выходе холодного потока  $\dot{m}_c$  к массовому расходу на входе  $\dot{m}_{in}$ . Также следует помнить о следующем соотношении

$$\mu_c + \mu_h = 1$$
, (2)  
где  $\mu_h$  – доля горячего потока.

Под эффективностью температурного разделения в данном случае понимается разница между температурой на выходе горячего потока и температурой на выходе холодного потока. Это понятие может быть применено по отдельности для оценки эффективности вихревой трубы как охлаждающего или нагревающего устройства. Тогда находится разница температур между температурой на входе и на выходе холодного потока или на выходе горячего потока. В [5] было найдено, что наиболее оптимальная разница температур, составляющая от 30 до 40 К, получается при доле холодного потока от 0,3 до 0,5.

В [6] проводилось сравнение результатов, полученных экспериментально, и результатов, полученных при помощи CFD анализа. Для CFD анализа была использована двухмерная осесимметричная модель. Для моделирования турбулентности применялись стандартная и RNG k-є модели. Исследование проводилось, чтобы показать, что исследование эффекта Ранка-Хильша может быть успешно осуществлено при помощи CFD анализа, что может привести к лучшему пониманию процессов, происходящих внутри данного устройства. Также может быть оптимизирована конструкция, и осуществлено проектирование новых, более эффективных устройств. Для исследования эффективности вихревой трубы, как и в [5], изменяли долю холодного потока. Было получено, что результаты CFD исследования достаточно хорошо согласуются с результатами, полученными экспериментально, хотя полученная численно разница температур имеет меньшее значение, чем разница температур, полученная экспериментально.

В [7] исследовалось влияние отношения длины трубы к диаметру на характеристики рабочего тела (газа). Поведение газа моделировалось при помощи CFD анализа и подтверждалось экспериментально. Для численного моделирования использовалась стандартная модель турбулентности k-є, поток принимался стационарным, без внешних воздействий. Также исследовалась зависимость эффективности разделения температур от доли холодного потока. Во время исследования величина отношения длины к диаметру менялась от 5 до 20. Граничные условия были определены, основываясь на экспериментальных данных, однако полученные численно результаты имели достаточно сильное расхождение с экспериментальными данными.

В [8] для исследования вихревого эффекта также применялся CFD анализ. Течение газа принималось стационарным, осесимметричным, высоко турбулентным. Расчеты проводились для идеального газа. Было проведено 2D и 3D моделирование. В 3D модели использовались периодические граничные условия, и рассматривался только сектор трубки с углом 60. Проводилось сравнение эффективности температурного разделения для разных значений доли холодного потока при заданном массовом расходе на входе. Зависимость эффективности температурного разделения от значения доли холодного потока рассматривалась отдельно для выходов холодного и горячего потоков. Таким образом, рассматривалась эффективность вихревой трубки как холодильника и как нагревателя. Для выхода холодного потока получилось, что при увеличении доли холодного потока эффективность вихревой трубки как холодильника уменьшалась. Наиболее оптимальное охлаждение величиной от 40 К до 50 К получилось при значениях доли холодного потока, равных 0,2-0,5. Для выхода горячего потока эффективность вихревой трубки как нагревателя, напротив, возрастала при увеличении доли холодного потока и составила порядка 60 К для максимальной исследуемой доли холодного потока, равной 0,8. Результаты достаточно хорошо согласовались с экспериментальными данными, полученными другими авторами.

В [9] проводилось численное исследование зависимости эффективности температурного разделения от доли холодного потока при помощи алгебраической модели напряжений по Рейнольдсу (ASM) и стандартной k-є модели. Численный анализ проводился для двухмерной, осесимметричной модели, исследование проводилось для идеального газа. Доля холодного потока составляла от 0,3 до 0,8, что достаточно близко к величинам, применяемым в исследованиях другими авторами, но эффективность разделения была несколько ниже и составляла всего порядка 15К.

Вихревой эффект как классический холодильный цикл. В [10] впервые вихревой эффект рассматривался как классический холодильный цикл. В результате движения газа в трубе образуются два закрученных потока: периферийный и внутренний (рис. 2). Периферийный поток закручивается и движется вдоль стенок вихревой трубки по направлению к выходу горячего потока. Внутренний поток закручивается и движется в центре вихревой трубки по направлению к выходу холодного потока. Оба этих потока вызывают вихревое движение газа в вихревой трубе с большой скоростью. В результате движения этих потоков возникают две петли: внутренняя петля вторичной циркуляции и внешняя петля периферии [3]. Периферийная петля обладает более высоким давлением по сравнению с внутренней петлей. Движение газа в петле вторичной циркуляции представляет собой движение рабочего тела в классическом холодильном цикле (рис. 2). Периферийная петля представляет собой внешнюю среду с высокой или низкой температурой (в зависимости от положения в вихревой трубе) как и в классическом холодильном цикле. Перенос энергии внутри петлей и обмен энергии между петлями и приводит к наблюдаемому эффекту разделения температур.

Для более детального понимания процессов внутри системы обозначим на рис. З пять воображаемых точек и рассмотрим процессы, протекающие между ними. Газ через входное отверстие проникает в трубу, попадает во внешнюю петлю, а часть его в регионах 0-1, 5-1 смешивается с газом внутренней петли. Далее часть газа, попавшая во внутреннюю петлю, следует по ней (регион 1-2) и вследствие сил трения между внешней и внутренней петлей ее скорость стремительно снижается, равно как и температура. С другой стороны при этом повышается скорость и температура потока внешней петли. Часть газа во внешней петле, обладающая наибольшей скоростью и температурой, выходит через выход горячего потока, а часть газа в регионе 3-h тормозится о контрольный клапан и поворачивает к выходу холодного потока. В то же время газ внутренней петли тормозится о внешнюю петлю и тоже поворачивает. Так как он имеет уже меньшую температуру по сравнению с газом внешней петли, то в регионе 3-4 он поглощает тепло от внешней петли, снижая при этом температуру газа внешней петли. Далее охлажденный газ внешней петли выходит через выход холодного потока. Газ внутренней петли тормозится о входящий в трубку газ в регионе 4-5, поворачивает и начинает цикл заново. Далее попробуем подтвердить данное объяснение при помощи численного моделирования.

СFD моделирование эффекта Ранка-Хильша. Исследования при помощи CFD анализа стали широко применяться относительно недавно. Тем не менее уже было опубликовано достаточно много статей с использованием CFD анализа для исследования эффекта Ранка-Хильша, и лишь некоторые из них были рассмотрены выше. Следует отметить, что все еще достаточно много работы должно быть выполнено, чтобы можно было говорить о том, что эффект понят достаточно полно. В проведенном выше обзоре кратко рассмотрены результаты, уже полученные другими авторами. Эти результаты подтверждают существование вихревого эффекта. С другой стороны в каждом из рассмотренных выше исследований был принят ряд важных допущений. Одно из них - о входе по всему диаметру трубки. Данное допущение позволяет проводить 2D моделирование, но может существенно повлиять на полученные результаты. Кроме того расхождения с экспериментальными данными, полученные в работах [6, 7], наряду с некоторыми моментами, не рассмотренными в остальных работах, приводят к необходимости дальнейших численных исследований. Численное исследование, описываемое в данной статье, имеет цель проверить: имеет ли место внутри вихревой трубы холодильный цикл, а также обоснованность моделирования процессов в вихревой трубке при помощи 2D анализа. Также достаточно актуальна оптимизация геометрических параметров вихревой трубы. Так как оптимизация всех параметров достаточно объемна и не уместится в рамках одной статьи, то в данной статье рассмотрена лишь оптимизация диаметра выхода холодного потока, который имеет большое влияние на эффективность вихревой трубы. На данном примере можно наглядно показать эффективность применения численного анализа для оптимизации параметров вихревой трубы и влияние изменения геометрических параметров на эффективность вихревой трубы.



Рис. 2. Формирование периферийного и внутреннего потоков [3]



Рис. 3. Холодильный цикл в вихревой трубе [3]

Геометрия модели. Рассмотрим основные элементы и основные геометрические параметры вихревой трубы (рис. 4). Основными элементами являются: вихревая труба 1, выход холодного потока 2, входное отверстие 3, контрольный клапан 4, выход горячего потока 5. Основные геометрические параметры, характеризующие вихревую трубу:  $d_{vr}$  – диаметр вихревой трубы,  $d_c$  – диаметр отверстия для выхода холодного потока,  $d_m$  – диаметр входного отверстия,  $d_{cve}$  – внешний диаметр контрольного клапана, определяющий ширину кольца выхода горячего потока,  $d_{cvi}$  – внутренний диаметр контрольного клапана,  $l_{vt}$  – длина вихревой трубы и  $l_{cv}$  – длина контрольного клапана.



Рис. 4. Геометрия вихревой трубки

Существуют некоторые оптимальные соотношения между геометрическими параметрами модели, позволяющие получить наибольший эффект разделения температур. Эти данные сильно отличаются у разных авторов. Так, согласно [3]

$$\frac{A_{in}}{A_{vt}} = 0,084 - 0,11; \frac{A_c}{A_{vt}} = 0,08 - 0,145; \frac{l_{vt}}{d_{vt}} > 45$$

где A<sub>in</sub> – площадь поперечного сечения входного отверстия, А<sub>vt</sub> – площадь поперечного сечения вихревой трубы, А<sub>с</sub> – площадь поперечного сечения отверстия выхода холодного потока. С другой стороны, в [8] исследования проводятся, начиная с  $l_{vt}/d_{vt}$  =5. В данном случае интересны численные исследования, проведенные в [11], в которых исследуются эффективность разделения температур в зависимости от числа входных отверстий, что непосредственно влияет на соотношение площади поперечного сечения входного потока к площади поперечного сечения вихревой трубы, а также оптимальное соотношение длины и диаметра вихревой трубы. Согласно [11] шесть входных отверстий и  $l_{vt}/d_{vt}$  =35 обеспечивают наибольшую разницу температур.

В нашей работе модель предполагается двухмерной, осесимметричной, следовательно, рассматривается только половина области, изображенной на рис. 4. Так как исследуется двухмерная модель, то тангенциальный вход заменяется входом по всему диаметру трубы. Ширина данного входа равна 0,4 мм. Данное допущение достаточно часто используется. С одной стороны, оно существенно упрощает моделирование процессов в вихревой трубе, с другой стороны, может оказать существенное влияние на формирование холодильного цикла внутри вихревой трубки и привести к совершенно другим результатам. Исследование обоснованности применения холодильного цикла для объяснения вихревого эффекта проводится для  $d_c=4$  мм. Влияние диаметра отверстия выхода холодного потока на эффективность вихревой трубки рассматривается для  $d_c = 4$  мм и  $d_c = 6$  мм. Остальные геометрические параметры равны:  $d_{vt}=16$  мм,  $d_{cve}=12$  мм,  $d_{cvi}$ =6 мм,  $l_{vt}$ =170 мм,  $l_{cv}$ =8 мм. Следовательно, соотношения между параметрами равны следующим величинам: A<sub>in</sub>/A<sub>vt</sub>=0,1; A<sub>c</sub>/A<sub>vt</sub>=0,06; для  $d_c$ =4 мм и  $A_c/A_{vt}$ =0,14 для  $d_c$ =6 мм,  $l_{vt}/d_{vt}$ =10,6. При данном отношении длины к диаметру уже можно получить достаточно неплохое разделение температур, с другой стороны увеличение данного соотношения вело бы к ненужному увеличению вычислений за счет увеличения длины. Уменьшение диаметра также является нежелательным, так как в дальнейшем будет сложно спроектировать конструкцию вихревой трубы.

Построение конечноэлементной сетки. Согласно приведенным выше размерам сначала строилась геометрическая двухмерная модель в Ansys DesignModeler. Далее производилось построение сетки в Ansys Mesh. Конечноэлементная сетка изображена на рис. 5. Она состоит примерно из 60000 элементов для обоих рассматриваемых случаев. Тип элементов смешанный, большинство из элементов прямоугольные. Наличие немногих треугольных элементов, а также четырехугольных элементов с не совсем правильной геометрией объясняется стремлением адаптировать сетку к особенностям геометрии при сохранении должного качества сетки. Во-первых, нужно было сгустить сетку у входного отверстия, так как его размеры относительно малы. Во-вторых, нужно было сгенерировать сетку надлежащего качества для достаточно сложной геометрии рядом с выходом горячего потока. Минимальный размер площади элемента равен 0,015 мм, максимальный – 0,15 мм. Для оценки качества сетки применялся коэффициент ассиметрии η [12]. Коэффициент ассиметрии изменяется от 0 до 1, где его значения стремятся к единице при ухудшении качества сетки. В данном случае  $\eta_{min}=1,3 \ 10^{-10}, \eta_{ave}=7,3 \ 10^{-3}, \eta_{max}=0,54$  для  $d_c=4$  мм и  $\eta_{min}=1,3 \ 10^{-10}, \eta_{ave}=8,2 \ 10^{-3}, \eta_{max}=0,53$  для  $d_c=6$  мм, где  $\eta_{min}, \eta_{ave}, \eta_{max}$  – минимальный, средний и максимальный коэффициенты ассимметрии, соответственно. Данные значения коэффициента свидетельствуют о достаточно хорошем качестве сетки для проведения численного анализа.



Рис. 5. Конечноэлементная сетка

Численный анализ на наличие холодильного иикла. Численное моделирование проводилось в программе Ansys Fluent. В качестве рабочего тела использовался воздух, который рассматривался как идеальный газ. Граничные условия задавались следующим образом. На выходах холодного и горячего потока задавалось давление, равное нулю, а на входе задавался массовый расход, равный 6 г/с. Величину данного массового расхода можно объяснить достаточно малым входным отверстием, что приводит даже при данном массовом расходе к давлению на входе порядка нескольких атмосфер. Рассмотрим полученные результаты. На рис. 6 изображено распределение температур. При этом температура на выходе холодного потока составляет около 276 К, а на выходе горячего потока около 301 К. Между тем данное распределение отличается от классически принятого. Попробуем найти этому объяснение при помощи распределения скоростей (рис. 7). На нем отчетливо видно наличие петли, которая и приводит к разделению температур в данном случае. Но по сравнению с рис. З направление движения в петле направлено в противоположную сторону. Это объясняется допущением о том, что входное отверстие располагается по всему диаметру трубы, которое, между тем, и позволило рассмотреть 2D модель. Таким образом, при данных допущениях также происходит разделение температур, но его возникновение происходит по-другому. Попробуем объяснить возникновение холодильного цикла и наличие разделения температур в данном случае (рис. 8).



Рис. 6. Распределение температур



Рис. 7. Распределение скоростей



Рис. 8. Формирование холодильного цикла

В данном случае при входе часть газа поступает в петлю холодильного цикла, тем самым увеличивая ее скорость. Газ в петле холодильного цикла движется к выходу горячего потока, при взаимодействии с внешней петлей замедляет скорость и охлаждается, одновременно происходит нагревание газа и увеличение его скорости во внешней петле. Далее газ начинает двигаться в обратном направлении около вихревой трубы. Там он встречается с входящим газом, охлаждает его и начинает новый цикл. Выводы по численному анализу на наличие холодильного цикла. На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- 1. Численный анализ подтверждает существование вихревого эффекта.
- 2. Численный анализ подтверждает гипотезу в [10] об охлаждении газа как в результате формирования холодильного цикла.
- 3. Несмотря на схожий результат из-за допущения, что газ входит по всему диаметру при проведении 2D анализа возникает совершенно другой холодильный цикл, чем

при классическом тангенциальном входе. Следовательно, чтобы описать процессы в классической вихревой трубе требуется проведение 3D анализа.

- Другой механизм действия при 2Dанализе объясняет слабое действие данной модели как нагревателя.
- Гипотеза о возникновении холодильного цикла требует дальнейшего исследования и подтверждения. Результаты данного численного анализа помогают лишь выдвинуть возможное объяснение.



**Рис. 9.** Зависимость эффективности вихревой трубки от диаметра холодного потока и массового расхода

Влияние диаметра отверстия выхода холодного потока на эффективность вихревой трубки. Другим важным направлением является влияние геометрических параметров вихревой трубки на ее эффективность. Несмотря на несколько иной механизм разделения температур при 2D анализе представляется интересным рассмотреть зависимость эффективности вихревой трубки от параметров для данной модели, а в последующих работах рассмотреть сходства и отличия двухмерного и трехмерного случаев. В нашей работе рассматриваются два случая: в первом случае  $d_c=4$  мм и во втором случае  $d_c=6$ мм. Граничные условия задаются аналогично предыдущему исследованию, кроме величины массового расхода. В данном исследовании для каждого диаметра выхода холодного потока задается массовый расход, равный 5; 5,5; 6; 6,5; 7 г/с. Таким образом, дополнительно исследуется зависимость эффективности вихревой трубки от величины массового расхода. Так как трубка работает как холодильник, наибольший интерес представляет температура на выходе холодного потока, а также выраженность и функционирование петли холодильного цикла. Результаты численного анализа изображены на рис. 9.

Далее по результатам численного анализа построим две кривые для  $d_c=4$  мм и  $d_c=6$  мм. По оси х отложим значения подаваемого массового расхода на вход вихревой трубы. По оси у отложим значения температуры на выходе холодного потока рядом с центральной осью трубы. Таким образом, принимается во внимание, что на выходе холодного потока наименьшее значение температуры получается рядом с центральной осью, тогда как температура у стенки трубки выхода несколько выше. Также не учитывается, что минимум температур получается примерно в середине трубки выхода холодного потока (рис. 10), и, в среднем, значение температуры там меньше на 7 градусов по сравнению с температурой на выходе для  $d_c=4$  мм и на 5 для  $d_c=6$  мм. Полученные зависимости изображены на рис. 10. Из графика видно, что охлаждающий эффект увеличивается с увеличением массового расхода и уменьшением диаметра выхода холодного потока, данные зависимости согласуются с результатами, полученными другими авторами.



**Рис. 10.** Кривые зависимости температуры на выходе холодного потока от массового расхода для *d<sub>c</sub>*=4 мм и *d<sub>c</sub>*=6 мм

Выводы по исследованию влияния геометрических параметров. В нашей работе проведено лишь очень краткое исследование влияния геометрических параметров на эффективность вихревой трубки. Тем не менее, полученные зависимости согласуются с результатами, полученными другими авторами. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1. Эффективность охлаждения увеличивается при увеличении массового расхода на входе.
- Эффективность охлаждения увеличивается при уменьшении диаметра отверстия выхода холодного потока.

Между тем, в других работах было получено, что уменьшение диаметра выхода холодного потока приводит к увеличению эффективности лишь до определенного значения, после которого дальнейшее уменьшение диаметра дает лишь прямо противоположный эффект. Подобные тенденции были получены в ряде зарубежных работ, в том числе, в [7].

Общие выводы: проведен краткий обзор СFD исследований вихревого эффекта, приводится его объяснение при помощи возникновения холодильного цикла. Подтверждается гипотеза возникновения холодильного цикла. Находится существенное отличие для 2D анализа вихревого эффекта, что позволяет утверждать: для полного понимания процессов в классической вихревой трубе с тангенциальным входом необходимо проведение 3D анализа. Рассмотрено влияние изменения геометрических параметров на эффективность вихревой трубки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1. *Darokar, H.V.* Experimental investigations on divergent vortex tube with convergent entry nozzles / H.V. *Darokar, S.L. Borse, K.D. Devade* // International journal of engineering research and technology. 2012. Vol.1 (Issue 6). P. 1-6.
- Коркодинов, Я.А. Применение эффекта Ранка-Хильша / Я.А.Коркодинов, О.Г. Хурматуллин // Вестник ПНИПУ. 2012. №4. С. 42-54.
- 3. *Gao, C.* Experimental study on the Ranque-Hilsh vortex tube– PhD thesis. Eindhoven, 2005. 151 p.
- Коркодинов, Я.А. Обзор семейства к-є моделей для моделирования турбулентности // Вестник ПНИ-ПУ. 2013. №2. С. 5-16.
- Akhesmeh, S. Numerical study of the temperature separation in the Ranque-Hilsh Vortex Tube / S. Akhesmeh, N. Pourmahmoud, H. Sedgi // American J. of Engineering and Applied Sciences.2008. Vol.1 (No 3). P. 181-187.
- Skye, H.M. Comparison of CFD analysis to empirical data in a commercial vortex tube / H.M. Skye, G.F. Nellis, S.A. Klein // International journal of refrigeration. 2006. Vol. 29. P. 71-80.

- Zin, K.K. Modeling and optimization of the vortex tube with computational fluid dynamics analysis / K.K. Zin, A. Hansske, F. Ziegler // Energy research journal. 2010. No 1 (2). P. 193-196.
- Azizi, S.H. Three and two dimensional compressible turbulent flow simulation in a vortex tube / S.H. Azizi, M.R. Andalibi, P. Khameneh // International conference on mechanical, automotive and materials engineering. – Dubai, 2012. P. 182-186.
- Smith, E. Numerical prediction of vortex flow and thermal separation in a subsonic vortex tube / E. Smith, P. Pongjet // Journal of Zhejiang university, science A. 2006. No 7(8). – P. 1406-1415.
- Ahlborn, B.K. The vortex tube as a classic thermodynamic refrigeration cycle / B.K. Ahlborn, J.M. Gordon // Journal of applied physics. 2000. No 6(Vol. 88). P. 3645-3653.
- 11. *Patel, R.B.* Experimental investigation and numerical analysis of Ranque Hilsh vortex tube / *R.B. Patel, V.N. Bartaria* // International journal of engineering research and technology. 2013. Vol.2 (1). P. 1359-1363.
- 12. www.ansys.com.

# **RESEARCH THE RANQUE-HILSH EFFECT**

### BY MEANS OF CFD ANALYSIS

### © 2014 Ya.A. Korkodinov, A.M. Khanov

### Perm National Research Polytechnical University

In work the review of CFD researches of the vortex effect executed by other authors is carried out. The hypothesis of formation the refrigerating cycle is considered. The numerical analysis of 2D model of a vortex tube is carried out. On the basis of analysis conclusions about validity of carrying out 2D analysis, and also about legitimacy of application the hypothesis of emergence the refrigerating cycle are drawn. Short research of influence of tube geometry on its efficiency is conducted.

Key words: vortex effect, temperature division, CFD analysis, refrigerating cycle, vortex tube

Yaroslav Korkodinov, Post-graduate Student. E-mail: svarogjk1989@rambler.ru Almaz Khanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Machines Design and Technology of Materials Processing". E-mail: mtf@pstu.ru