

УДК 621.3.913

**В.А. КИРИЧЕНКО**, студентка ХНУРЭ, Харьков

**О.А. ПОНОМАРЕНКО**, студентка ХНУРЭ, Харьков

**Н.Н. ЧЕРНЫШОВ**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ХНУРЭ,  
Харьков

**Е.В. ФУРЦОВА**, канд. физ.-мат. наук, НФТЦ МОН НАНУ

### **АНАЛИЗ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS**

В статті наведено результати аналізу турбулентного потоку рідини і теплопередачі в змішувачем коліні. Розрахунок проведено на основі комп'ютерної моделі колінчатого патрубку, яка входить до складу стандартних моделей програмного комплексу ANSYS.

В статье представлены результаты анализа турбулентного потока жидкости и теплопередачи в смешивающем колене. Расчет проведен на основе компьютерной модели колінчатого патрубка, которая входит в состав стандартных моделей программного комплекса ANSYS.

**Введение.** Современный уровень развития науки и техники требует усовершенствования оборудования для получения плазмы и синтеза наноструктур. Одним из путей улучшения рабочих характеристик установок является модернизация систем охлаждения и подачи реагентов. Что приводит к необходимости решения задач, связанных с движением жидкости в различных структурах.

В данной статье описан алгоритм расчета двумерного турбулентного потока жидкости и теплопередачи в смешивающем колене, основанный на компьютерной модели колінчатого патрубка. Патрубок имеет блочную разветвленную структуру, которая характерна для систем транспортировки жидкости различного назначения. В частности, похожую структуру имеют и кровеносные сосуды, поэтому этот расчет также может быть актуален при моделировании бифуркации сосудов в биомедицине [1, 2].

Процесс моделирования осуществляется при помощи специализированных САПР, а именно программного комплекса ANSYS [3], расчеты которого основаны на методе конечных элементов (КЭ). Дан-

ный программный продукт позволяет за короткое время получить достоверные результаты с высокой точностью.

**Построение модели расчета.** Рассмотрим модель смешивающего колена, которое состоит из двух блоков (рис. 1). Первый блок – коленчатый патрубок диаметра  $d_1$ , который согнут с некоторым радиусом кривизны  $r_c$ . Второй блок представляет собой полу трубку, врезанную в патрубок в месте его изгиба. Диаметр этой трубки существенно меньше диаметра патрубка.

Жидкость (в нашем случае вода) с температурой  $T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  проходит через широкий канал и смешивается в коленчатом патрубке с поступающей по узкому каналу более теплой жидкостью с температурой  $T_2 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 1).

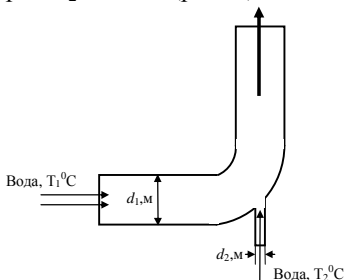


Рис.1. Модель смешивающего колена.

цаемости;

4) настройка алгоритма решения задачи (наложение граничных условий, установка параметров потока и жидкости, а также определение оптимального количества итераций, необходимых для получения достоверного решения с заданной точностью).

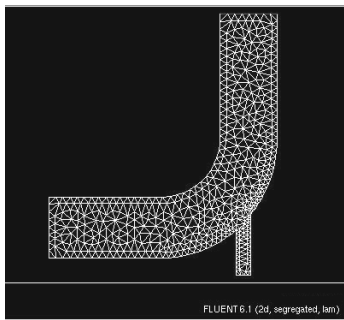


Рис. 2. Треугольная сетка для смешивающего колена.

Для построения компьютерной модели используется программный модуль ANSYS Fluent. При этом алгоритм ее построения можно представить в следующем виде:

- 1) идеализация расчетной области (моделирование геометрии потока);
- 2) разбивка расчетной области на конечные элементы (наложение сетки);
- 3) наложение условий непроницаемости;

Итак, на начальном этапе нами была смоделирована геометрия смешивающего колена, и проведена разбивка расчетной области на конечные элементы, при этом необходимо выбрать оптимальную сетку, наиболее адекватно описывающую полученную поверхность.

Для этого задаются параметры сетки, производится ее проверка и масштабирование. В результате по-

лученную поверхность.

лучается треугольная сетка (рис. 2).

Далее определялся характер модели (турбулентное или ламинарное течение жидкости), который бы наиболее точно подходил для выбранной геометрии.

Число Рейнольдса  $Re$ , которое является критерием перехода от ламинарного течения жидкости к турбулентному, определяемое из соотношения

$$Re = \frac{\rho v L}{\eta} = \frac{v L}{\nu} = \frac{Q L}{\nu S}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – характерная скорость,  $\text{м/с}$ ;  $L$  – характерный размер,  $\text{м}$ ;  $\eta$  – динамическая вязкость среды,  $\text{кгс/м}^2$ ;  $\nu = \eta/\rho$  – кинематическая вязкость среды,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $Q$  – объемная скорость потока;  $S$  – площадь сечения трубы, существенно превышало критическое число Рейнольдса, характерное для течения воды в круглой трубе, что обусловило необходимость выбора турбулентной модели.

После задания граничных условий и параметров среды, расчет турбулентных процессов и теплопередачи осуществлялся на основе алгоритмов, которые входят в состав стандартных моделей программного комплекса ANSYS.

**Результаты и их анализ.** На основе разработанной модели были проведены исследования физических процессов внутри смешивающего колена, получены распределения значений и векторы скорости потока жидкости внутри патрубков, проанализировано изменение температуры жидкостей до и после смешивания, а также оценены величины статического давления на поверхности патрубков и динамический напор.

На рис. 3 представлено распределение скорости потока жидкости внутри смешивающего колена.

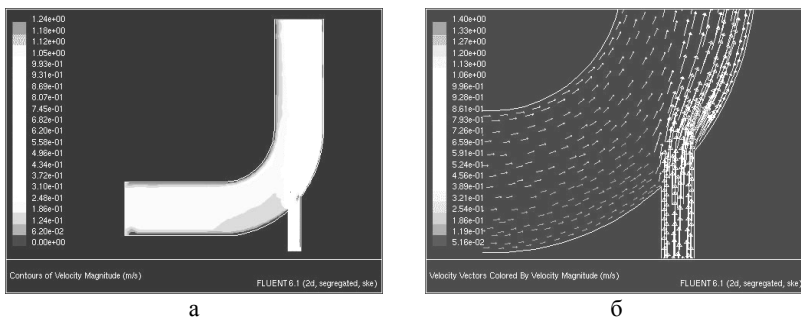


Рис. 3. Распределение скоростей,  $\text{м/с}$ .

На рис. 3,а представлена зависимость скорости движения жидкости от диаметра трубки. Из рисунка видно, что скорость движения жидкости в трубке с меньшим диаметром существенно превышает скорость движения в патрубке с большим диаметром поперечного сечения. На рис. 3,б представлено распределение скоростей движения жидкостей в векторной форме. Более детально рассмотрен момент смешивания двух потоков. Наблюдаются достаточно сильные турбулентности в момент выхода жидкости из трубки малого диаметра в коленчатый патрубок, после смешивания с потоком в патрубке, скорость снижается, но все же превышает скорость движения воды по более широкому каналу, поэтому на выходе исследуемого патрубка также наблюдается неравномерная картина распределения скорости движения воды.

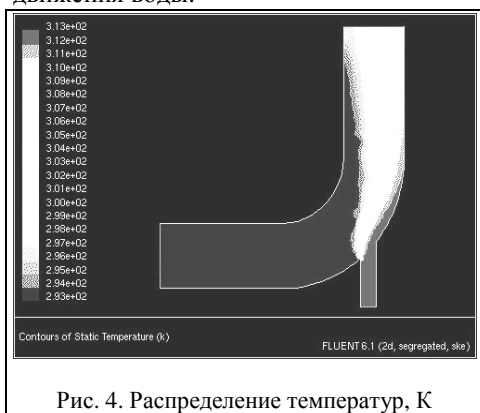


Рис. 4. Распределение температур, К

На рис. 4 приведено распределение температуры жидкости внутри смешивающего колена. Показана динамика изменения температуры при смешивании двух потоков воды с разными начальными температурами. Так, из рисунка видно, что снижение температуры жидкости после взаимодействия двух потоков начинается сразу же после выхода жидкости

из трубы малого диаметра в полость коленного патрубка. При этом наиболее нагретой остается часть жидкости, находящаяся у той стенки патрубка, в которую осуществлялась врезка трубы малого диаметра. Это объясняется тем, что скорость жидкости возле стенок смешивающего колена ниже, чем в его центре, и активного взаимодействия двух потоков там нет.

Кроме этого, данная модель позволяет рассчитать распределение статического давления на поверхности канала и изменение кинетической энергии жидкости (динамический напор). Так, на рис. 5 приведены графики распределения статического давления на поверхности большого канала (рис. 5,а) и динамического напора в смешивающем колене (рис. 5,б).

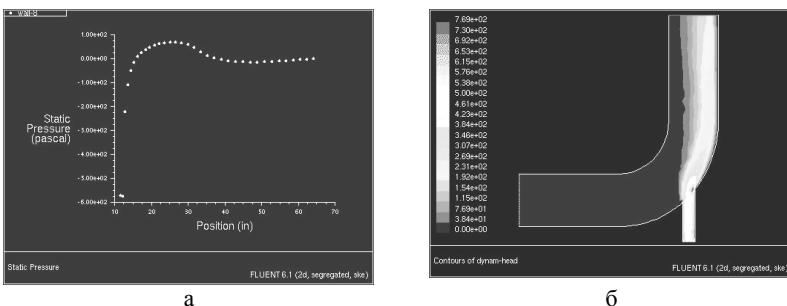


Рис. 5. Графики распределения статического давления поверхности большого канала, Па (а) и динамического напора в смешивающем колене (б).

Видны некоторые колебания статического давления в начале трубки, что обусловлено началом движения жидкости. Поскольку кинетическая энергия жидкости имеет прямую зависимость от скорости движения потока внутри трубы, то динамический напор будет максимальным в зонах сильной турбулентности, т.е. там, где скорость движения жидкости выше, в нашем случае это зона врезки трубы малого диаметра в коленчатый патрубкок.

Полученные результаты не противоречат общим законам гидродинамики, что говорит об их достоверности и правильном выборе модели расчета.

**Заклучение.** В программной среде ANSYS Fluent, основанной на методе конечных элементов, построена компьютерная модель 2D-турбулентного течения жидкости и теплопередачи в смешивающем колене. Получены сведения об основных физических процессах, протекающих в данных структурах. Рассчитаны распределения температуры, давления, скорости жидкости, оценен динамический напор потока.

Полученные данные имеют большую практическую ценность при создании новых, более эффективных, систем транспортировки жидкостей в различных областях человеческой деятельности, а также биологии и медицины.

**Список литературы:** 1. *Морман Д, Хеллер Л.* Физиология сердечно-сосудистой системы. – СПб: Питер, 2000. – 256 с. 2. *Биркгоф Г.* Гидродинамика / Пер. с англ. – М.: Из-во иностранной литературы, 1963. – 245 с. 4. *Каплун А.Б.* ANSYS в руках инженера. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

*Поступила в редколлегию 26.01.2011  
Рецензент д.т.н., проф. Болюк В.Ф.*