## Лабораторная работа № 3

**турбулентное движение вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрический трубе**

**Цель работы**:

1. моделирование турбулентного течения вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе;
2. нахождение профиля скорости и границ применимости теоретического расчета уравнения распределения скорости по сечению трубы.

Теоретическая часть

Турбулентное движение является наиболее распространенным в природе и технике и представляет собой одно из сложнейших гидравлических явлений. Несмотря на многочисленные исследования, строгая теория для такого движения до сих пор не создана, поэтому при решении практических задач наряду с применением отдельных полуэмпирических теорий широко используют экспериментальные данные и эмпирические формулы.

При  нарушается устойчивость ламинарного движения, возрастают поперечные составляющие скоростей частиц, приводящие к хаотическому движению частиц в потоке (последние могут переходить из одной структуры в другую, вызывая тем самым перемешивание). Интенсивность перемешивания частиц жидкости зависит от числа Рейнольдса, т. е. при сохранении прочих условий от скорости движения жидкости. В периферийных слоях потока жидкости из-за значительных касательных напряжений скорости всегда будут минимальными и режим движения будет ламинарным. Увеличение скорости до критического значения приведет к смене режима движения жидкости с ламинарного на турбулентный. Таким образом, поток жидкости состоит из ламинарной зоны (у стенки канала) и турбулентного ядра течения (в центре) (рис. 27).

Поскольку скорость к центру турбулентного потока нарастает интенсивно, то толщина периферийного ламинарного слоя чаще всего незначительна () и зависит от скорости движения жидкости.

.



Рис. 27

Наблюдения за величинами осредненных скоростей в турбулентном потоке жидкости показали, что практически скорости в разных точках живого сечения равны средней скорости. Сопоставление эпюр скоростей (рис. 28) турбулентного потока *1* и ламинарного потока *2* позволяют сделать вывод о практически равномерном распределении скоростей в живом сечении турбулентного потока.

Рис. 28



На основании работ Прандтля, а также обобщений многочисленных экспериментальных исследований других ученых было установлено, что закон изменения скоростей по сечению турбулентного потока близок к логарифмическому закону.

И. Никурадзе, исходя из опытов, была предложена следующая формула по распределению скорости в трубах круглого сечения:

,

где  – динамическая скорость; *z* – расстояние от поверхности трубы; *С* = 5,5 при , *С* = 8,48 при .

Более универсальной зависимостью, описывающей закон изменения скорости, является уравнение, полученное Альтшулем:

.

Им же получены простые расчетные зависимости для определения отношения средней скорости к максимальной:

.

### Постановка задачи

Задача состоит в моделировании ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе, наблюдении за динамикой его установления и анализе установившегося течения.

Длина трубы *L*= 2 м, диаметр *d*= 0,02 м. Плотность воды ρв= 1000 кг/м3, динамическая вязкость  кг/(м⋅с). Скорость на входе υ = 50 +  *N* м/с.

**Моделирование**

1. Загрузите **FlowVision**.
2. Выберите **Создать** в меню **Файл**.
3. Выберите файл D:\ Samples\Geom\Tube\_lam.wrl.
4. Выберите **Модель − Несжимаемая жидкость**, отметьте уравнение Навье − Стокса и уравнение переноса турбулентных функций.
5. Задайте **Начальные значени**я, **zСкорость** = υ м/c, пульсации − 0,01, масштаб турбулентности − *d*/ 10.
6. Задайте свойства среды: **Плотность** = ρв, **Молекулярная вязкость** = μ.
7. Задайте **Общие параметры, шаги**: неявная схема, фиксированный шаг −0,1⋅*l*/ υ. .
8. Задайте **Граничные условия**.

Граница 1: тип Стенка, Тип граничного условия − Стенка, логарифмический закон, Шероховатость = 0.

Граница 2: тип Вход/Выход, **Скорость**, Тип граничного условия = Нормальная скорость = υ, **ТурбЭнергия**, Тип граничного условия = Пульсация, Пульсация = 0,01, **ТурбДиссипация**, Тип граничного условия = Масштаб турбулентности, Масштаб = *d*/ 10.

Граница 3: тип Свободный выход, Тип граничного условия − Нулевое давление/Выход.

1. Задание начальной расчетной сетки. Введите количество сеточных интервалов 20 для каждой из оси (*X*, *Y*, *Z*) в окошко, расположенное справа от кнопки **Равном.** и нажмите на эту кнопку.
2. Выполните предварительный и окончательный расчет задачи.

### Представление и анализ результатов

1. В Постпроцессоре создайте горизонтальную линию на оси канала и вертикальную линия в центре трубы.
2. Постройте двумерный график (график давления на горизонтальной линии и график *Z*-компоненты скорости на вертикальных линиях).
3. Создайте новую переменную, характеризующую распределение скорости по формуле Альтшуля

, .

1. Постройте двумерный график новой переменной.
2. Для каждого графика на вертикальных линиях нужно выбрать одинаковую длину оси Функция 0,25 (в данном случае) и, возможно, изменить ориентацию плоскости Функция на 90° или 270°.
3. Сравните значения максимальной и средней скорости в различных сечениях с их теоретическими значениями при граничных условиях на скорость. Объясните расхождение.