Введение.

Параметрическая геометрия.

Для дальнейшего исследования был выбран следующий шаблон геометрии клапана Теслы:

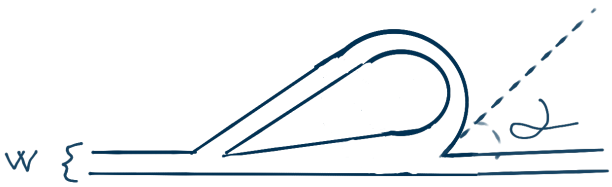

Рис. 1: Клапан Тесла.

Это прямой канал с U-образным отводным каналом. Основной параметр для дальнейшего исследования – это угол α.

На основе выбранного шаблона был написан скрипт для построения параметрической геометрии и расчетной сетки.

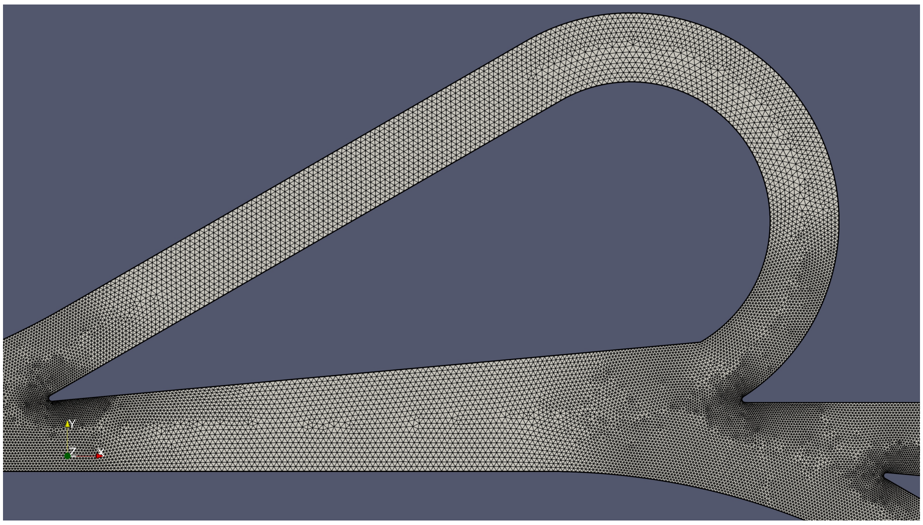

Рис. 2: Расчетная сетка.

На (рис. 2) угол α равен 30 градусам. Также, можно видеть, что сетка не однородная и ее разрешение падает по мере удаления от зон с наибольшим интересом.

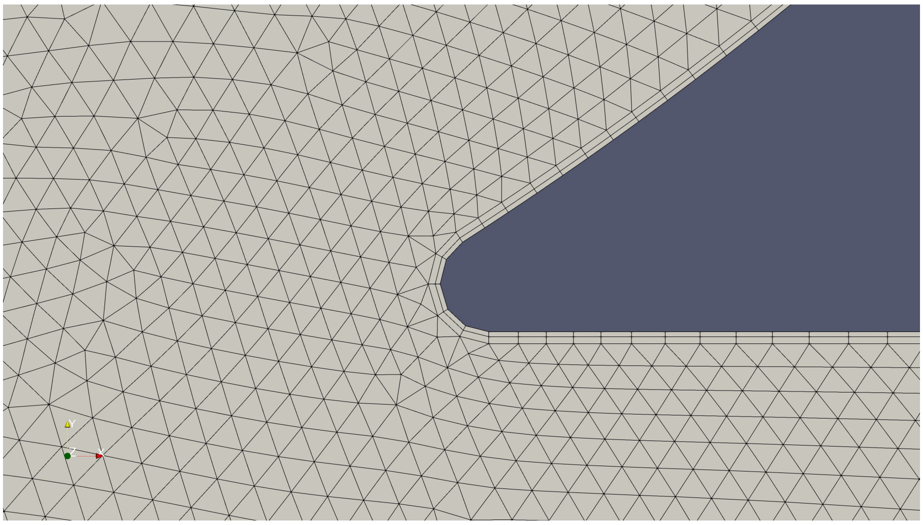

Рис. 3: Расчетная сетка в приближении.

Для разрешения градиента скорости вблизи стенок был добавлен сеточный подслой (рис. 3).

Режим течения и расчет.

Чтобы определить какого рода перед нами течение, можно рассчитать число Рейнольдса, Re. Исходя из полученного значения, можно будет сделать выводы о характере потока, турбулентное или ламинарное. Так как канал нашей конфигурации клапана Теслы имеет квадратное сечение, то формула для определения числа Рейнольдса имеет вид:

$$Re = \frac{uD_H}{\nu} \tag{1}$$

Где u - скорость в канале, м/с, D_H - гидравлический диаметр, м, ν - кинематическая вязкость, м^2/с.

$D_H = \frac{4A}{P}$,
где A - площадь поперечного сечения канала, м^2, P - смоченный периметр.

Для нашей конфигурации скорость течения в канале будет равна 3 м/с, а число Рейнольдса - 1500. Ширина канала была выбрана равной 500 мкм или 0.0005 м.

Для числа Рейнольдса

OpenFoam - это открытый программный комплекс для решения задач механики сплошной среды. SimpleFoam - это стационарный решатель для несжимаемого турбулентного потока, использующий алгоритм SIMPLE. Математическая модель, реализованная в решателе simpleFoam, имеет вид:

$$\boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{u} = 0 \tag{2}$$

$$\boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{u} \otimes \boldsymbol{u} = -\boldsymbol{\nabla} p + \boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{\tau} \tag{3}$$

Где $\boldsymbol{u}$ - скорость, м/с, р - кинематическое давление, м^2/с^2, $\boldsymbol{\tau}$ - тензор напряжения. Каждый цикл итерации влечет за собой сначала расчет промежуточного поля скорости, которое удовлетворяет линеаризованным уравнениям импульса для предполагаемого распределения давления: затем применяется принцип сохранения массы для настройки скоростей и давлений, так что все уравнения находятся в равновесии.

По графикам невязок (два скрина невязок.) видно, что при решении без использования модели турбулентности, решение является неустойчивым. Исходя из этого было принято решение о подключении турбулентной модели k-epsilon. Выбранным типом моделирования турбулентности был параметр RAS. Модель k-epsilon объединяет уравнения турбулентной кинетической энергии (4), k, и уравнение скорости рассеивания турбулентной кинетической энергии (5), ϵ.

$$\frac{D}{D_t}(\rho k) = \nabla \cdot (\rho D_k \nabla k) + P - \rho\epsilon \tag{4}$$

$$\frac{D}{D_t}(\rho\epsilon) = \nabla \cdot (\rho D_\epsilon \nabla \epsilon) + \frac{C_1 \epsilon}{k}(P + C_3 \frac{2}{3} k \nabla \cdot \boldsymbol{u}) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \tag{5}$$

Где k — турбулентная кинетическая энергия, м^2/с^2, D_k - Эффективная диффузионная способность для k, P - скорость производства турбулентной кинетической энергии, м^2/с$^-3$, ϵ - скорость рассеивания турбулентной кинетической энергии, м^2/с$^-3$, D_ϵ - Эффективная диффузионная способность для ϵ.

Далее решается уравнение для турбулентной вязкости:

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \tag{6}$$

Где C_μ - модельный коэффициент турбулентной вязкости, μ_t - турбулентная вязкость, м^2/с$^-1$.

Граничные условия. Для решения уравнений турбулентности заданы через интенсивность для k (7) и через длину перемешивания для ϵ (8). Граничные условия для скорости заданы через объемный расход, для давления через абсолютное давление (9).

$$k_p = 1.5(I|U|)^2 \tag{7}$$

Где k_p - кинетическая энергия на границе, м^2/с^2, I - интенсивность турбулентности.

$$\epsilon_p = \frac{C_\mu^{0.75} k^{1.5}}{L} \tag{8}$$

Где ϵ_p - диссипация кинетической энергии на границе, м^2/с$^-3$, L - шкала длины.

$$p_p = p_0 + \frac{1}{2}\ |u_0|^2 - \frac{1}{2}\ |u|^2 \tag{9}$$

Где p_p - давление на границе, м^2/с^2, p_0 - внешнее статическое давление, м^2/с^2, u - скорость, м/с, u_0 - внешняя скорость, м/с.

Оценка полученных результатов. Для оценки эффективности клапана Тесла, оценим его диодность, Di (10). Если Di $>$ 1, то рассматриваемый клапан можно считать рабочим. Для этого мы проводили расчет нашей конфигурации клапана Тесла с одинаковыми параметрами дважды, но при разных подключениях: при обратном, когда перепад давления наибольший, и, при прямом, когда перепад давления наименьший. Полученные данные фиксировались.

$$Di = (\frac{\triangle p_r}{\triangle p_f})_Q \tag{10}$$

Где $\triangle p_r$ - перепад давления при обратном подключении, $\triangle p_f$ - перепад давления при прямом подключении для скорости потока Q.

Результаты.