

Модельная задача об оптимизации угла установки церебрального сосудистого анастомоза

Пресняков С.С.

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук Паршин Д. В. ,

Магистрант ММФ НГУ Куянова Ю. О.

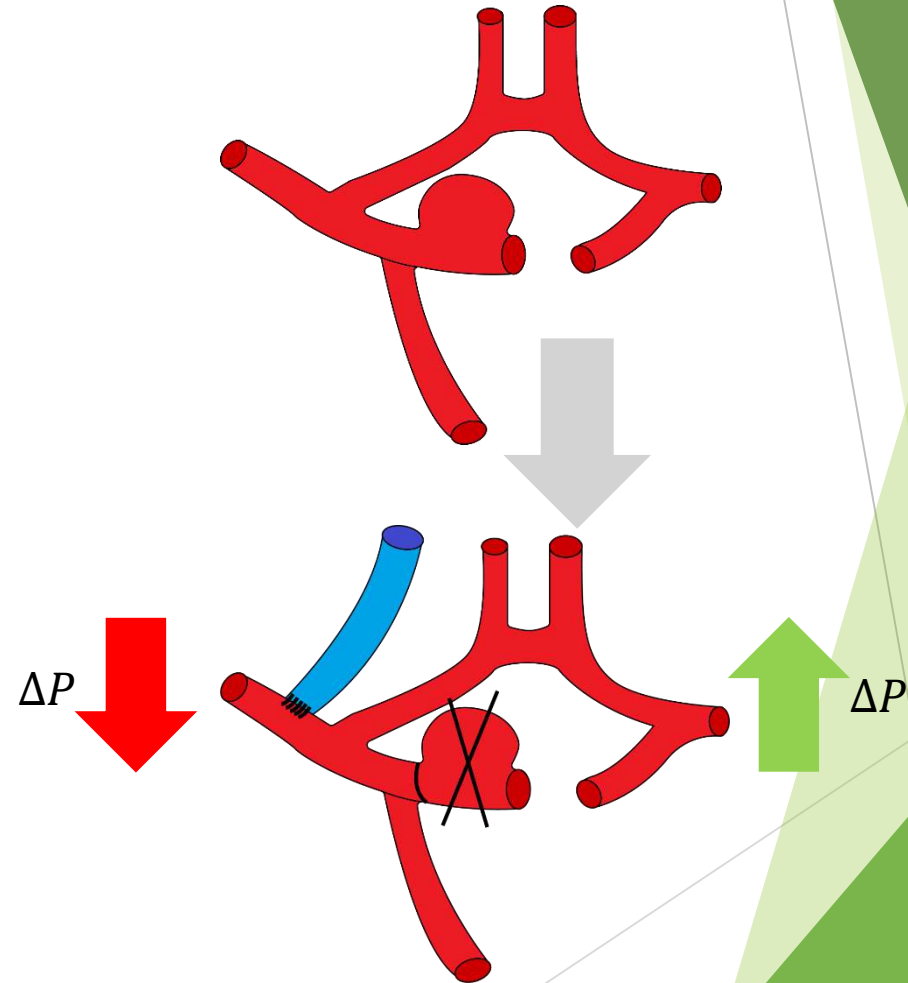
Специализированный учебно-научный центр НГУ, г. Новосибирск-2019

План презентации

- Введение
- Работа в Ansys CFX
- Решаемая задача
- Результат

Сосудистый анастомоз

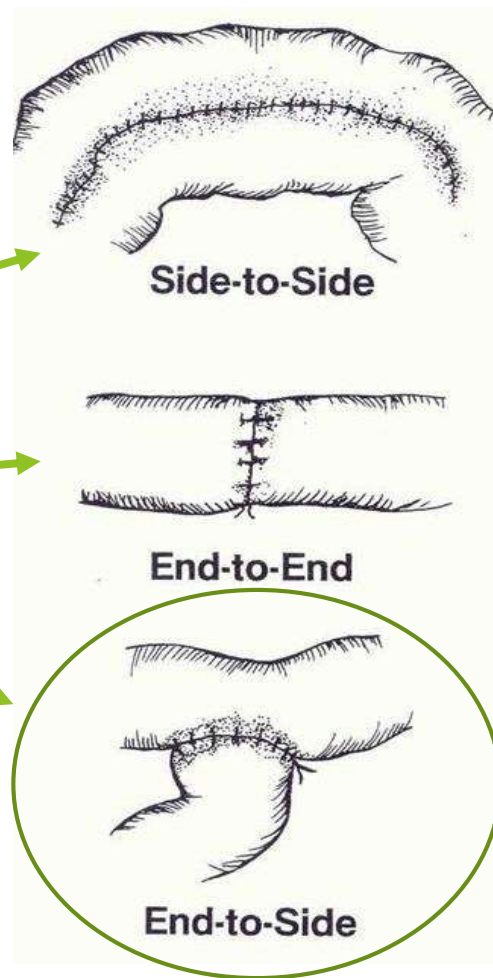
- Анастомоз церебральных сосудов - это соединение обычно отдельных ветвей сосудов головного мозга с целью их взаимодействия между собой.
- Применяется для лечения:
 - Церебральных аневризм
 - Стенозов
 - Опухолей



Классификация анастомозов по типу соединения

➤ Основные виды анастомозов по типу соединения:

- Бок в бок
- Конец в конец
- Конец в бок



Несущая артерия

Анастомоз



Возникающие задачи

- Поиск оптимального места установки анастомоза
- Нахождение оптимального угла установки анастомоза
- Поиск подходящего радиуса анастомоза
- Вычисление требуемых несущих характеристик анастомоза

Процесс решения задачи

Построение геометрии



Построение сетки по заданной геометрии



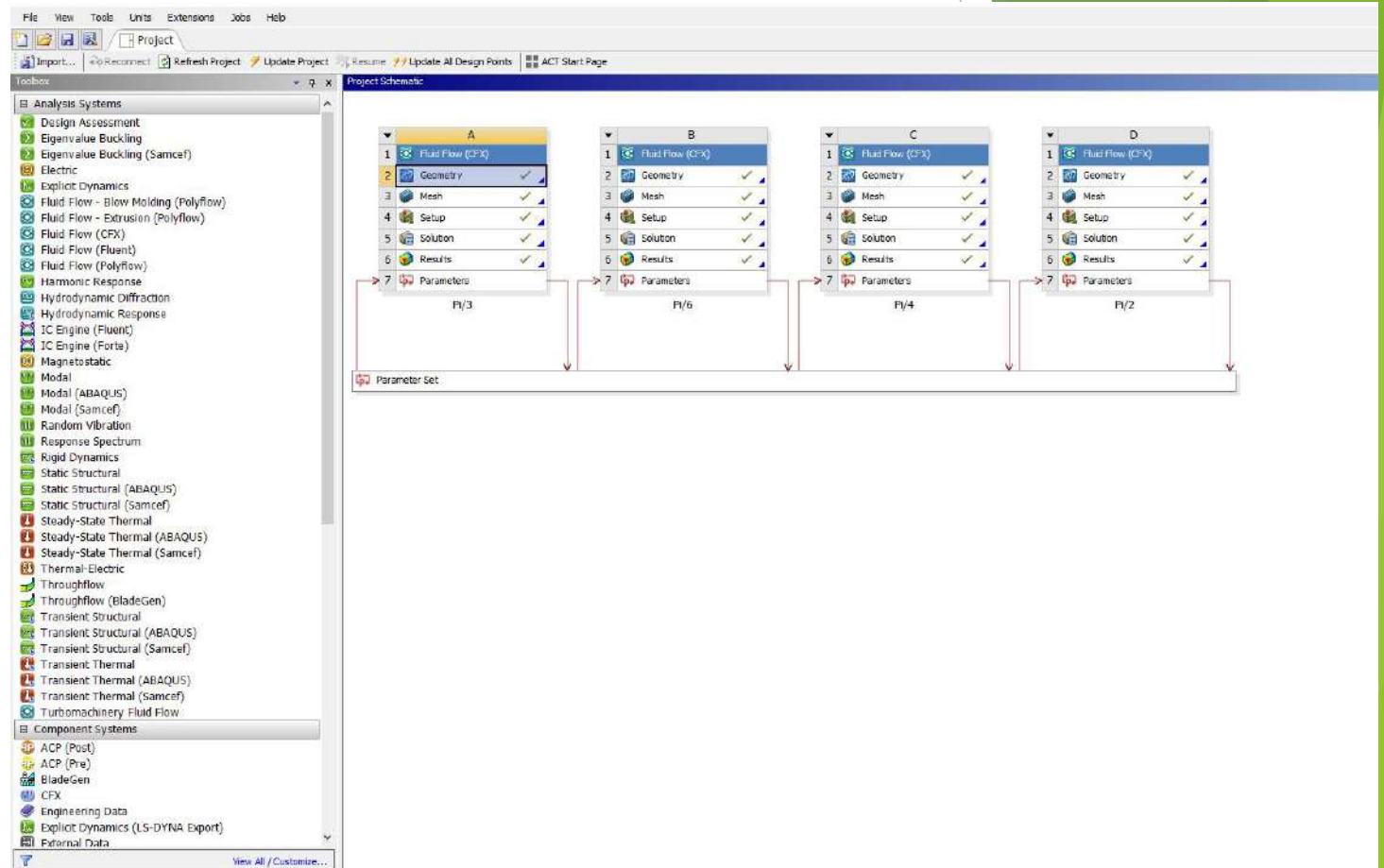
Настройка решателя(задание характера течения, граничные условия, сходимость и т.д.)



Решение задачи, анализ результатов

Ansys CFX

- Ansys CFX - это высокопроизводительное программное обеспечение для гидродинамических расчётов.
- Весь дальнейший расчёт будет производиться в данной программе.



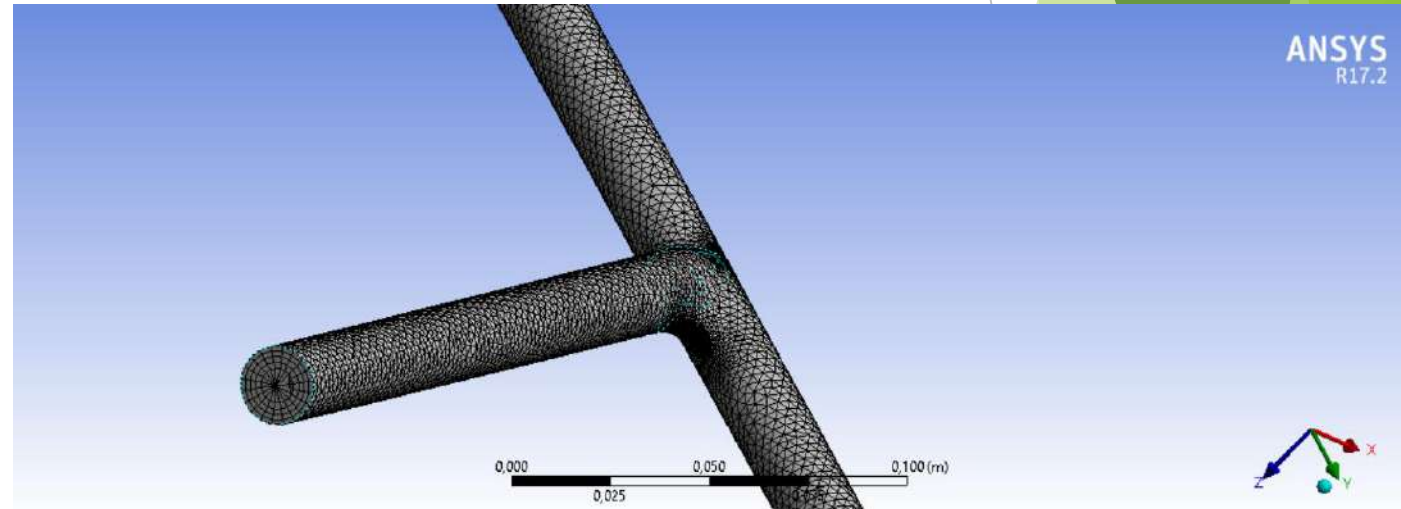
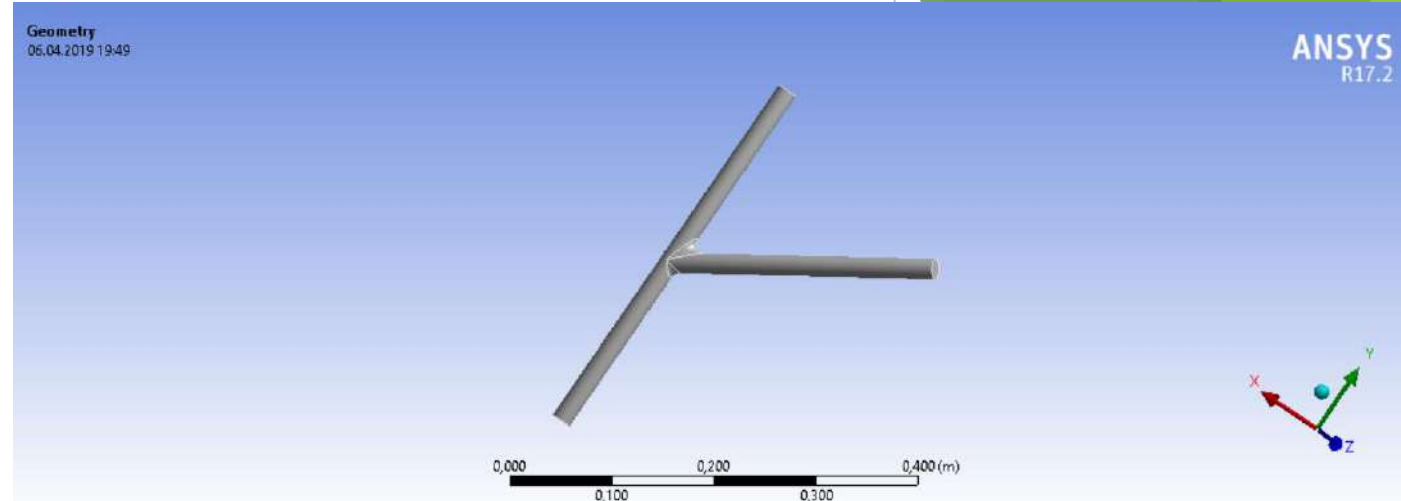
Space Claim

- Space claim - это модуль для создания геометрии для дальнейшего расчёта
- Берутся два цилиндра, соединяются под углом (30° , 45° , 60° , 90°) место соединения сглаживается.
- Радиус несущей артерии выносится в параметры.



Построение сетки

- Для расчёта используется неструктурированная тетраэдрическая сетка, измельчающаяся на изгибах и в пограничном слое, которая генерируется автоматически. Вдоль стенки выстраиваются призматические слои для учёта условия прилипания
- Кол-во элементов: ~100000
- Кол-во узлов: ~37000



Уравнения движения среды

- Впервые уравнение Навье — Стокса было получено Навье (1822, несжимаемая жидкость) и Пуассоном (1829, сжимаемая жидкость), которые исходили из модельных представлений о молекулярных силах. Позже феноменологический вывод уравнения был дан Сен-Венаном и Стоксом.
- Стационарное течение крови в области сосудов и аневризмы описывается уравнениями Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости в трёхмерном случае:

$$\begin{cases} \rho(\mathbf{u}\nabla\mathbf{u} - \mu\Delta\mathbf{u}) = -\nabla p + \mathbf{F} \\ \operatorname{div} \mathbf{u} = 0 \end{cases}$$

- Где $\mathbf{u}$ - скорость жидкости, ρ - плотность жидкости, p - давление, $\mathbf{F}$ - внешние силы, μ - динамическая вязкость.

Дискретизация (Метод конечных объемов)

- ▶ Для получения расчётной схемы проинтегрируем систему уравнений Навье-Стокса:

- ▶
$$\begin{cases} \int_V (\mathbf{u} \nabla \mathbf{u} - \mu \Delta \mathbf{u}) dV = - \int_S \frac{\nabla p}{\rho} dS \\ \iiint_V \operatorname{div} \mathbf{u} dV = 0 \end{cases}$$

- ▶ Применяя формулу Гаусса-Остроградского:

- ▶
$$\begin{cases} \int_S \mathbf{u} (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS - \int_S \mu (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS = - \frac{1}{\rho} \int_S p \cdot \mathbf{n} dS \\ \int_S \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS = 0 \end{cases}$$

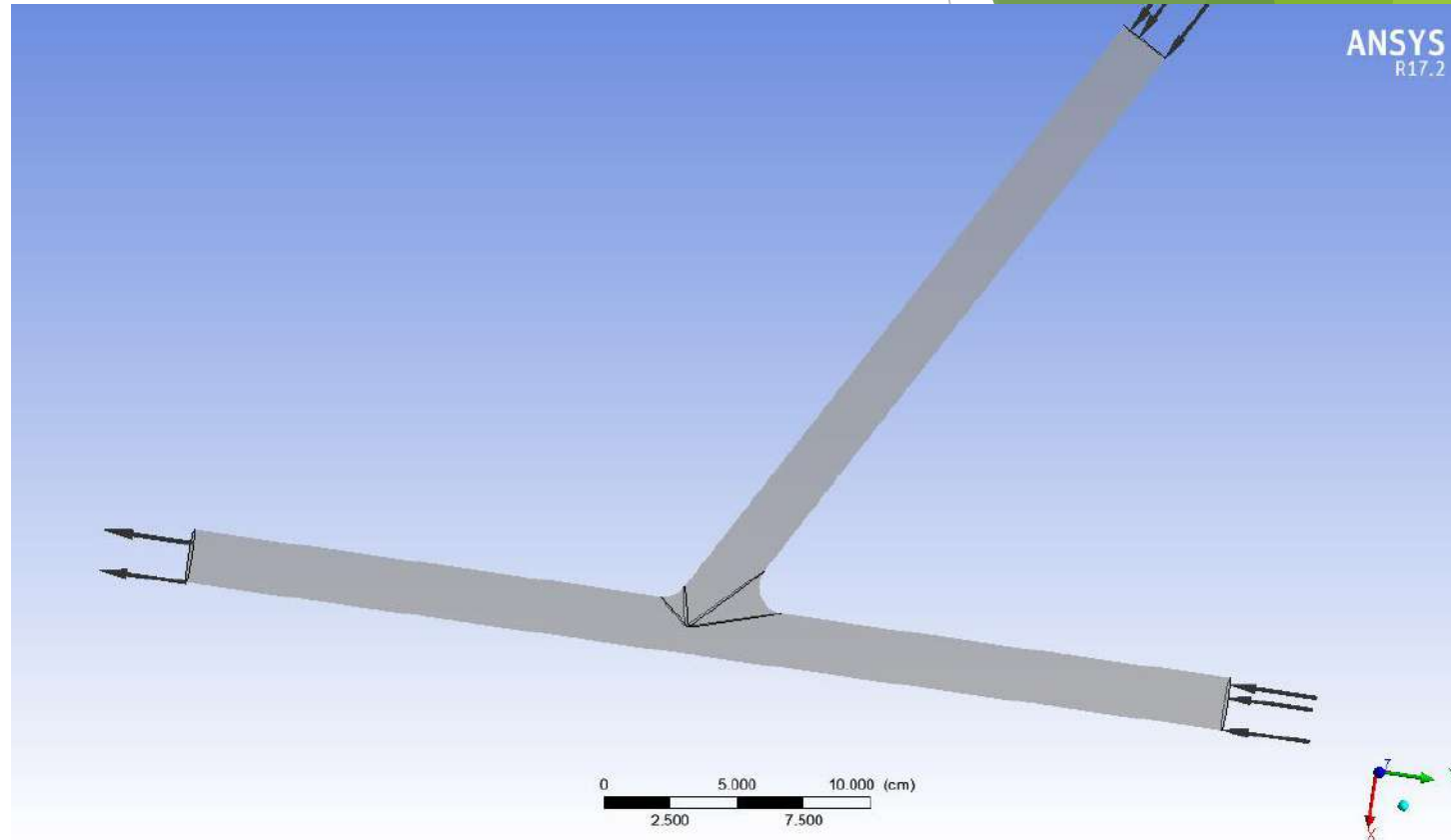
- ▶ и приводя уравнение к дискретной форме, получаем:

- ▶
$$\begin{cases} \sum_{\alpha} m_{\alpha} (\mathbf{u}_j)_{\alpha} - \sum_{\alpha} (\rho \mu \frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial x_j})_{\alpha} = - \sum_{\alpha} (p \Delta n_j)_{\alpha} \\ \sum_{\alpha} m_{\alpha} = 0, \end{cases}$$

- ▶ где $m_{\alpha} = (\rho \mathbf{u}_i \Delta n_i)_{\alpha}$ - массовый расход через поверхность элемента объёма.

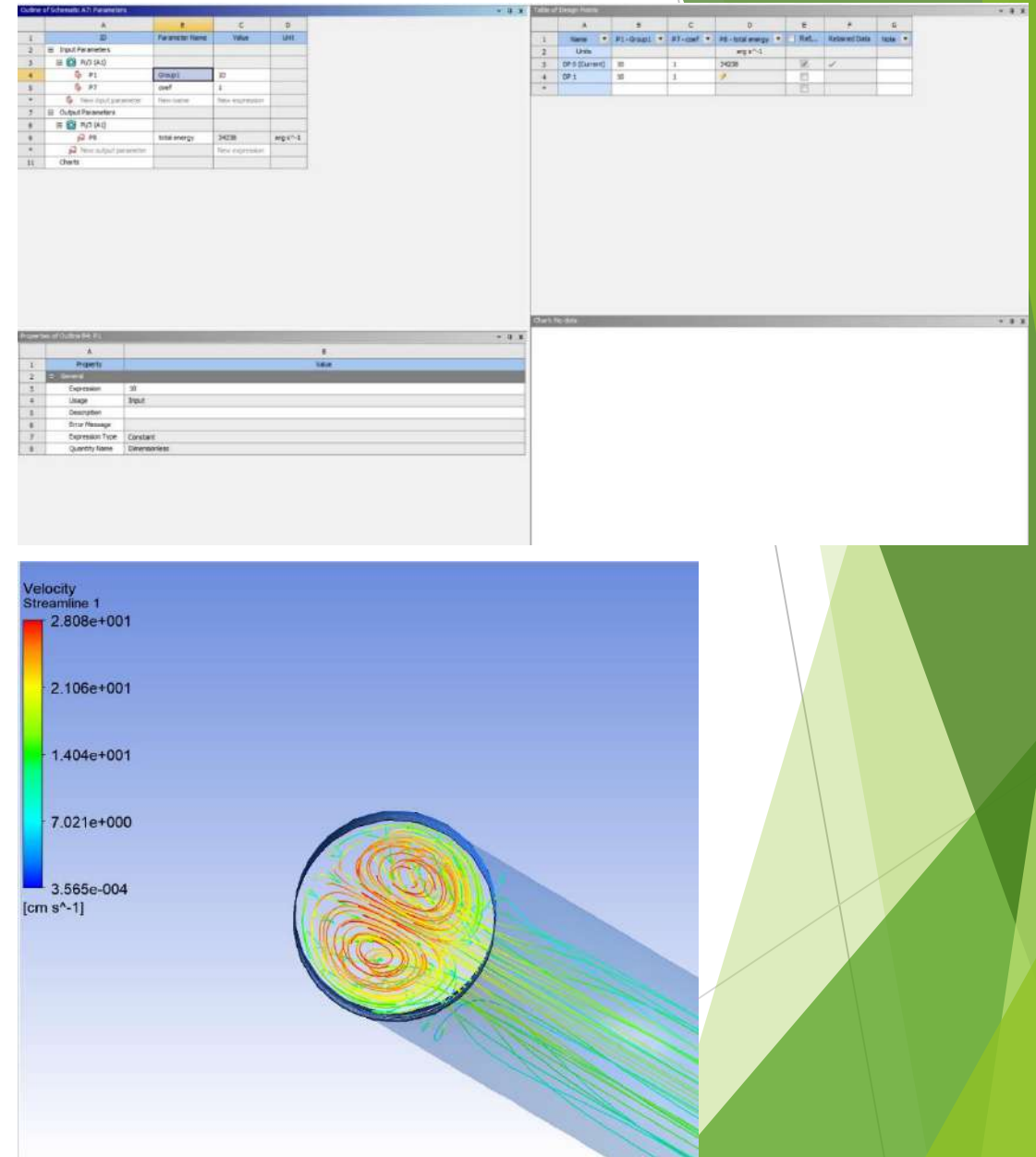
Граничные условия

- Условия ставились на скорость течения во входных отверстиях(вынесенно в входные параметры), а на выходные отверстия задавалось давление(0 Па).
- Также ставилось условие прилипания на стенках тройника.



Параметры

- Входящие параметры:
 - Геометрические
 - Радиус несущей артерии
 - Граничные условия
 - Отношение скоростей на входе в анастомоз и в несущую
- Выходной параметр
 - Энергия диссипации
- $W = 4\mu \int_{\Omega} |\omega|^2 d\Omega$
 - Ω - область течения
 - ω - завихренность
 - μ - динамическая вязкость жидкости ($32 * 10^{-4} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$)



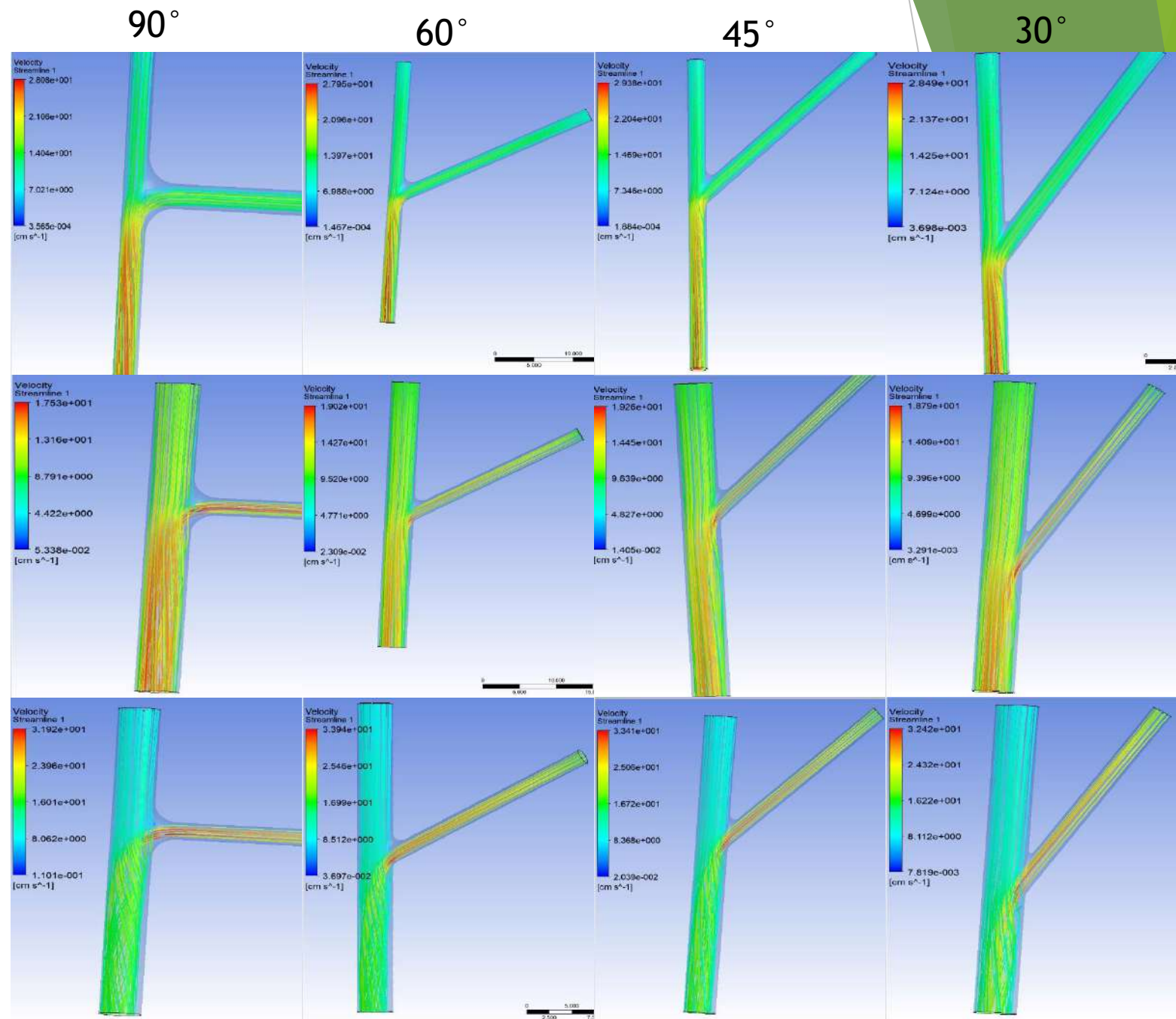
Результаты

Рис.: Линии тока
скоростей при
разных входных
параметрах и углах

R=1
V=1

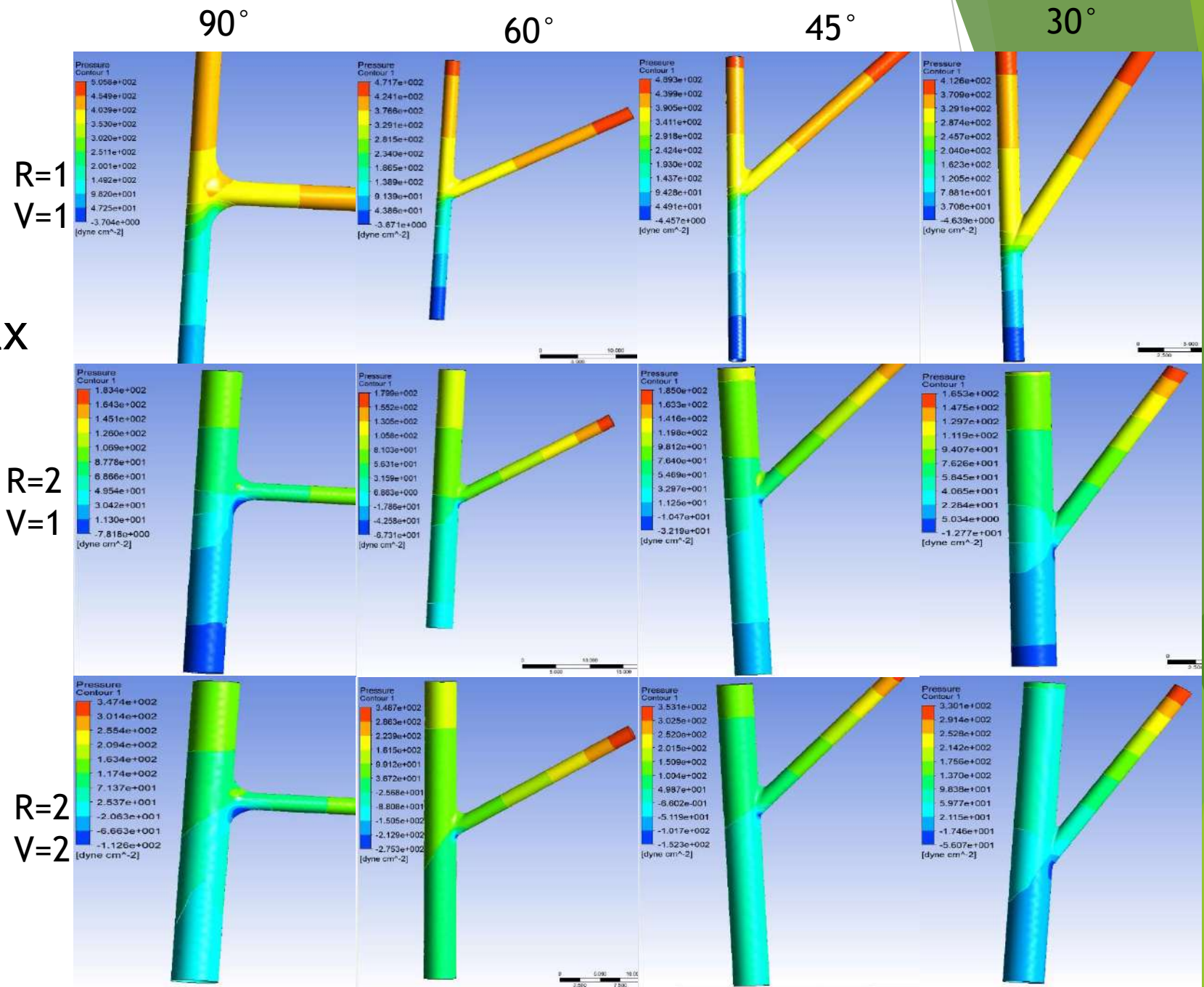
R=2
V=1

R=2
V=2



Результаты

Рис.: Давление на стенках тройника при разных входных параметрах и углах



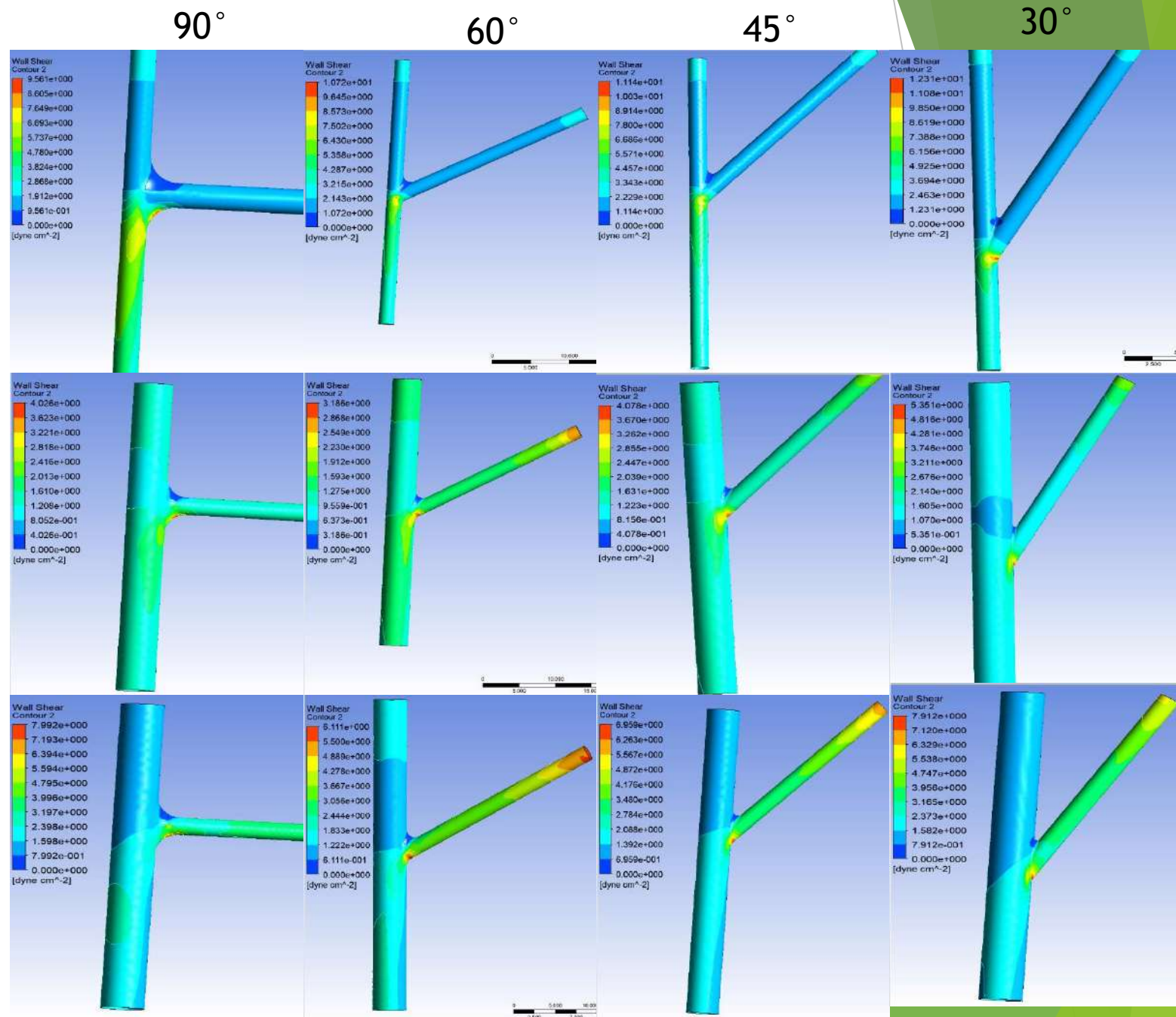
Результаты

Рис.: Касательные напряжения (WSS) при разных входных параметрах и углах

$R=1$
 $V=1$

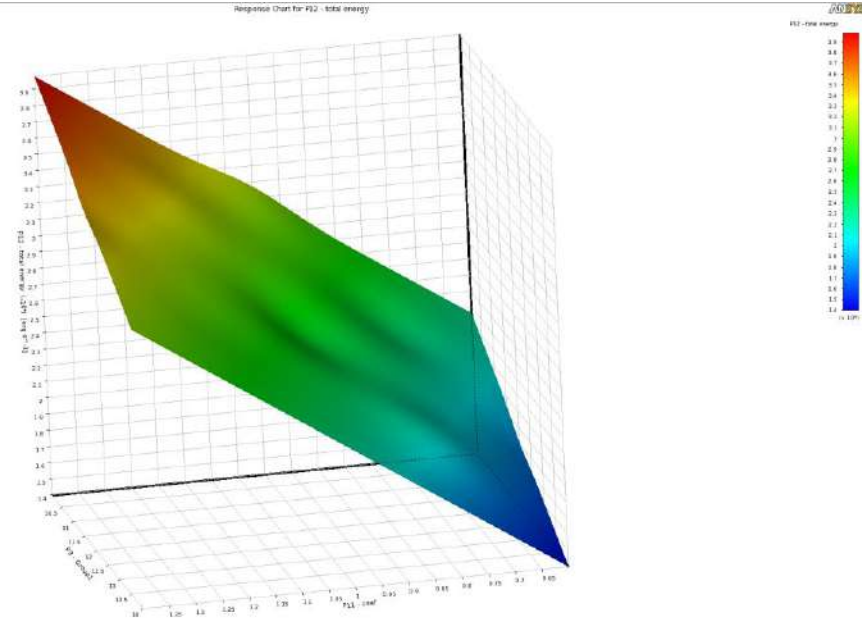
$R=2$
 $V=1$

$R=2$
 $V=2$

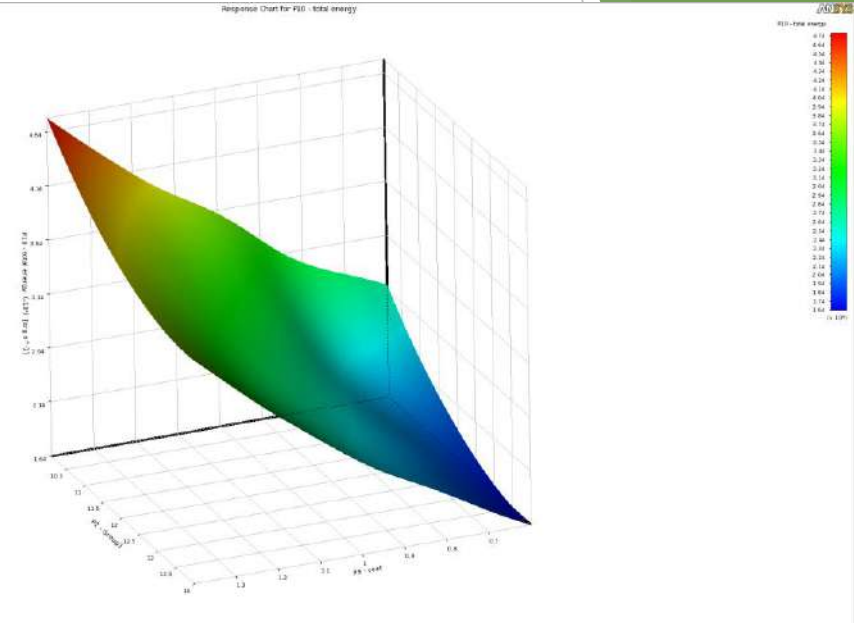


Результаты

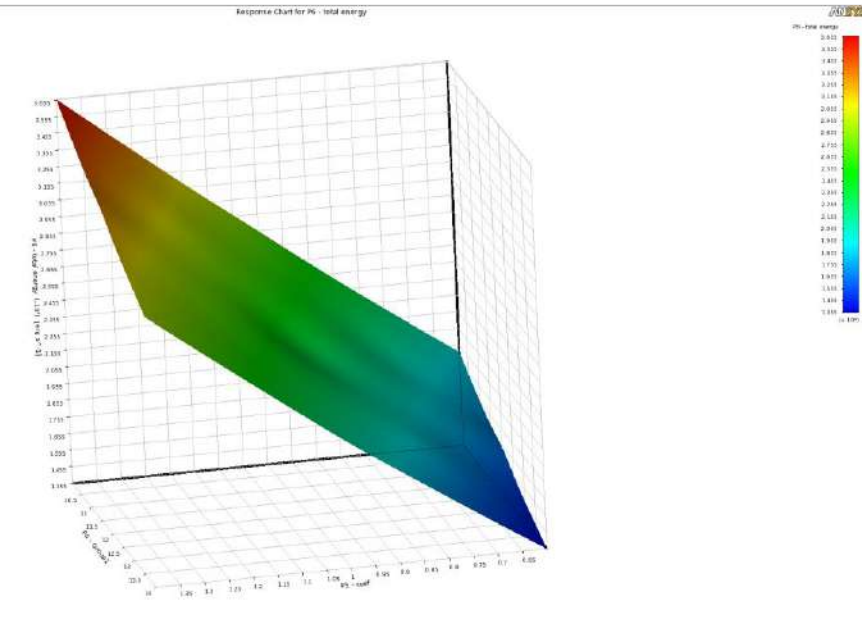
90°



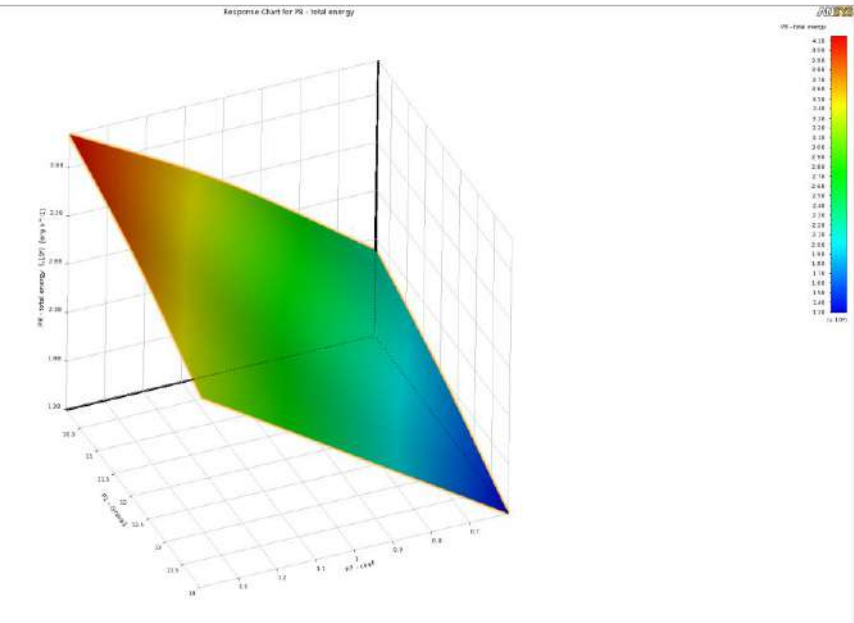
45°



30°



60°



Результаты

90°	Минимум	Максимум
R	1,4	1
V	0,6	1,4
$W(erg\ s^{-1})$	13892	39886

45°	Минимум	Максимум
R	1,4	1
V	0,6	1,4
$W(erg\ s^{-1})$	16387	48062

30°	Минимум	Максимум
R	1,4	1
V	0,6	1,4
$W(erg\ s^{-1})$	13523	36734

60°	Минимум	Максимум
R	1,4	1
V	0,6	1,4
$W(erg\ s^{-1})$	13365	42211

Спасибо за внимание!