

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Высшая школа теоретической механики и математической физики,
Физико-механический институт

Отчет по лабораторной работе №1
тема «Расчет течения в прямоугольной полости с движущейся
крышкой»
дисциплина «Гидродинамика»
Вариант 10.

Выполнил студент гр. 5030103/00301

Качевская О.А.

Преподаватель:

Левченя А.М.

Содержание

1. Постановка задачи.....	3
2. Ход работы.....	14
3. Результаты.....	14
4. Заключение	14

1. Постановка задачи.

В рамках работы требуется выполнить расчет стационарного ламинарного течения несжимаемой жидкости в прямоугольных полостях с движущейся крышкой для разных значений числа Рейнольдса; провести анализ полученных решений в сопоставлении с литературными данными [1-4].

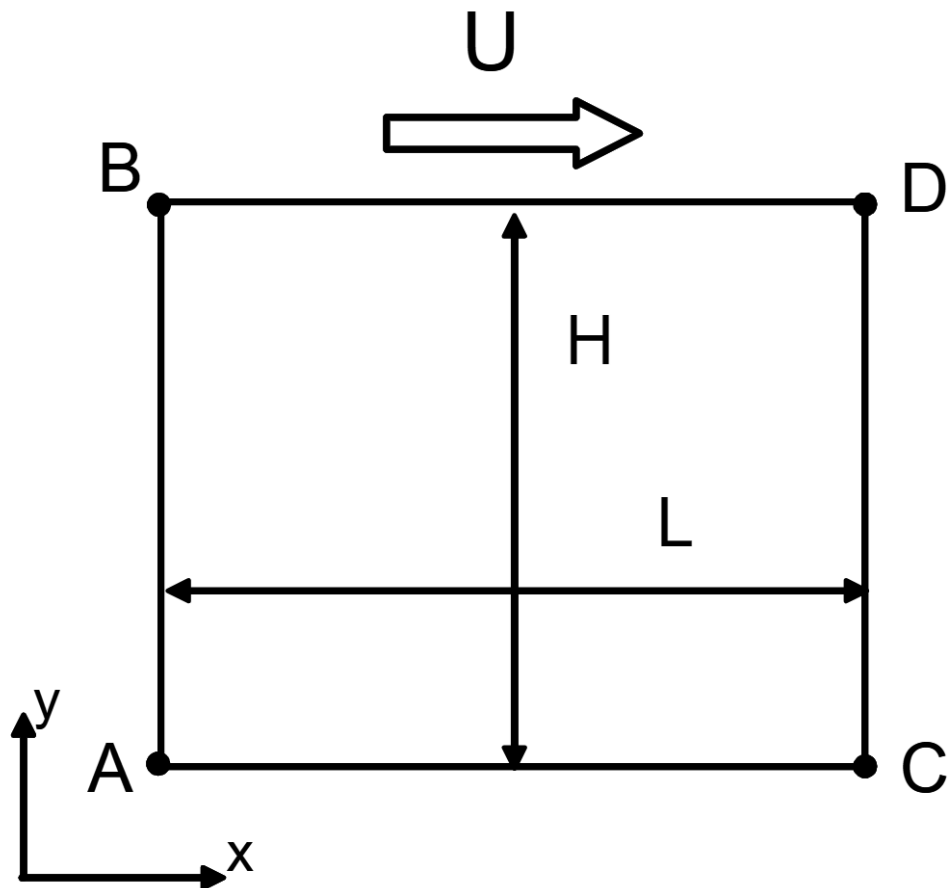


Рис. 1. Расчетная область для исследования течения в полости с движущейся крышкой.

На рисунке представлена расчетная область – прямоугольная полость ABCD высотой H и длиной L , $k = H/L$ – параметр формы. Полость со всех сторон ограничена твердыми стенками. Верхняя граница расчетной области BD движется с постоянной скоростью U , остальные границы неподвижны, на них ставится условие прилипания (скорость равна нулю).

Течение определяется безразмерным режимным параметром – числом Рейнольдса: $Re = \frac{\rho UL}{\mu}$, где ρ – плотность среды, $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; U – масштаб скорости, $[U] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$; L – линейный масштаб, $[L] = \text{м}$; μ – динамический коэффициент вязкости, $[\mu] = \text{Па} \cdot \text{с}$. Поскольку величина L выбрана в качестве масштаба, при построении области следует задавать отрезку AC длину 1 м. Скорость на движущейся стенке следует также задавать $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Для расчетов в данном варианте принимаются следующие исходные данные:

$$k = H/L = 1$$

$$Re = 100, 400, 1000$$

$$\text{Number of Divisions} = 60 \times 60$$

$$\text{Bias Growth Rate} = 1.04$$

2. Ход работы.

Для начала выполним построение расчетной области. В настройках проекта в Workbench (WB) указываем, что будем рассматривать 2D постановку задачи. Строим расчетную область – прямоугольник шириной 1 м и высотой 1 м – в модуле Geometry – DesignModeler.

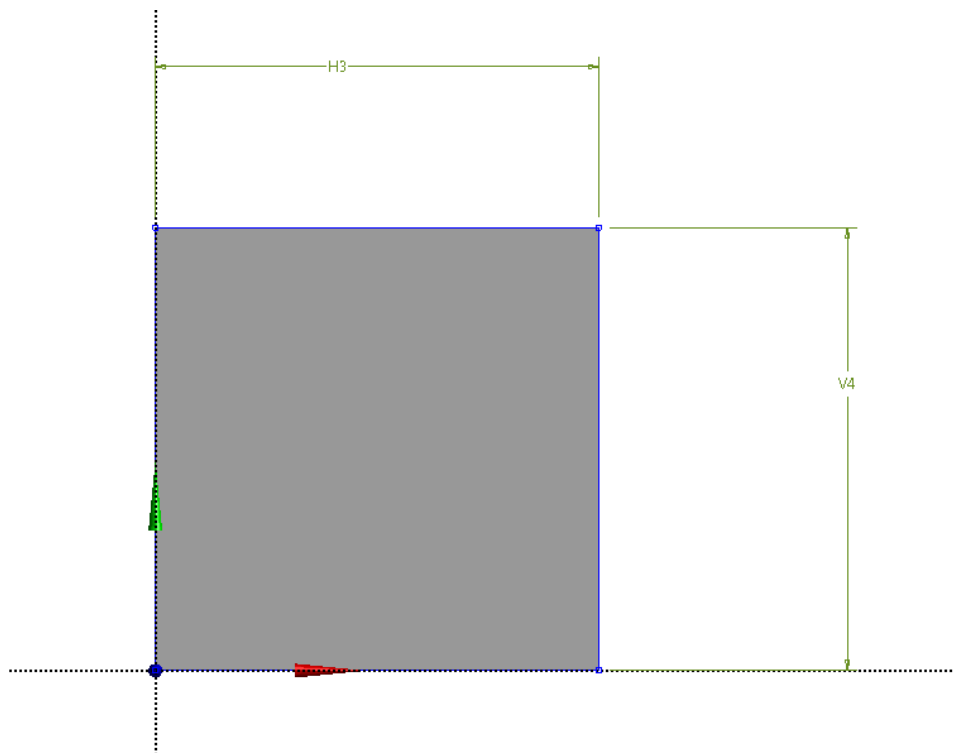


Рис. 2. Геометрия прямоугольной полости.

Далее построим сетку. В модуле Mesh строим сетку со сгущением к стенам расчетной области. Для этого используем Sizing на каждом краю геометрии, где и указываем настройку Number of Divisions. Для сгущения используем Bias Option – Smooth Transition в режиме Hard. А также используем настройку Face Meshing на всю расчетную область, где указываем, что элементы будут All Quad. Результаты можно увидеть на рисунке 3.

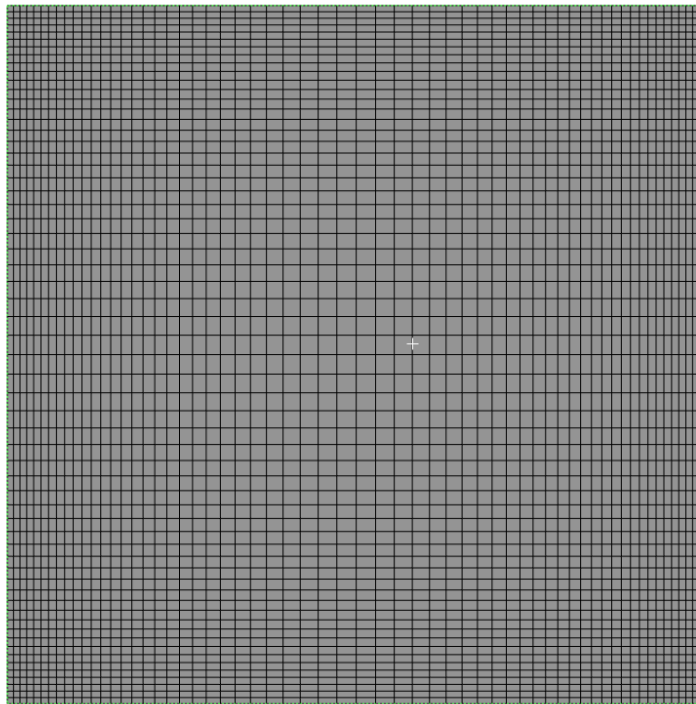


Рис. 3. Сетка для расчетной области. Bias Growth Rate 1.04

Дополнительно в этом модуле создаем Named Selections для движущейся «крышки» и группы неподвижных стен.

После зададим расчетные параметры задачи. Работа производится в модуле Fluent. Для моделирования ламинарной жидкости требуется выставить параметры в Models – Viscous – Laminar. Поскольку жидкость несжимаемая, то $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \text{const}$. Динамический коэффициент вязкости μ можно получить из формулы для числа Рейнольдса:

$$\mu_1 = \frac{\rho UL}{Re_1} = 0.01, \mu_2 = \frac{\rho UL}{Re_2} = 0.04, \mu_3 = \frac{\rho UL}{Re_3} = 0.001$$

Для задания ГУ переходим в блок BC – Residuals – Show Advanced Options – Moving Wall – Speed и задаем там значение $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ для верхней стенки.

При запуске первого расчета в некоторой геометрии нужно стартовать с начальных полей Initialize – Hybrid.

Опционально: рекомендуется отключить контроль сходимости Monitors – Residuals – Show Advanced Options – Convergence Check – none.

3. Результаты.

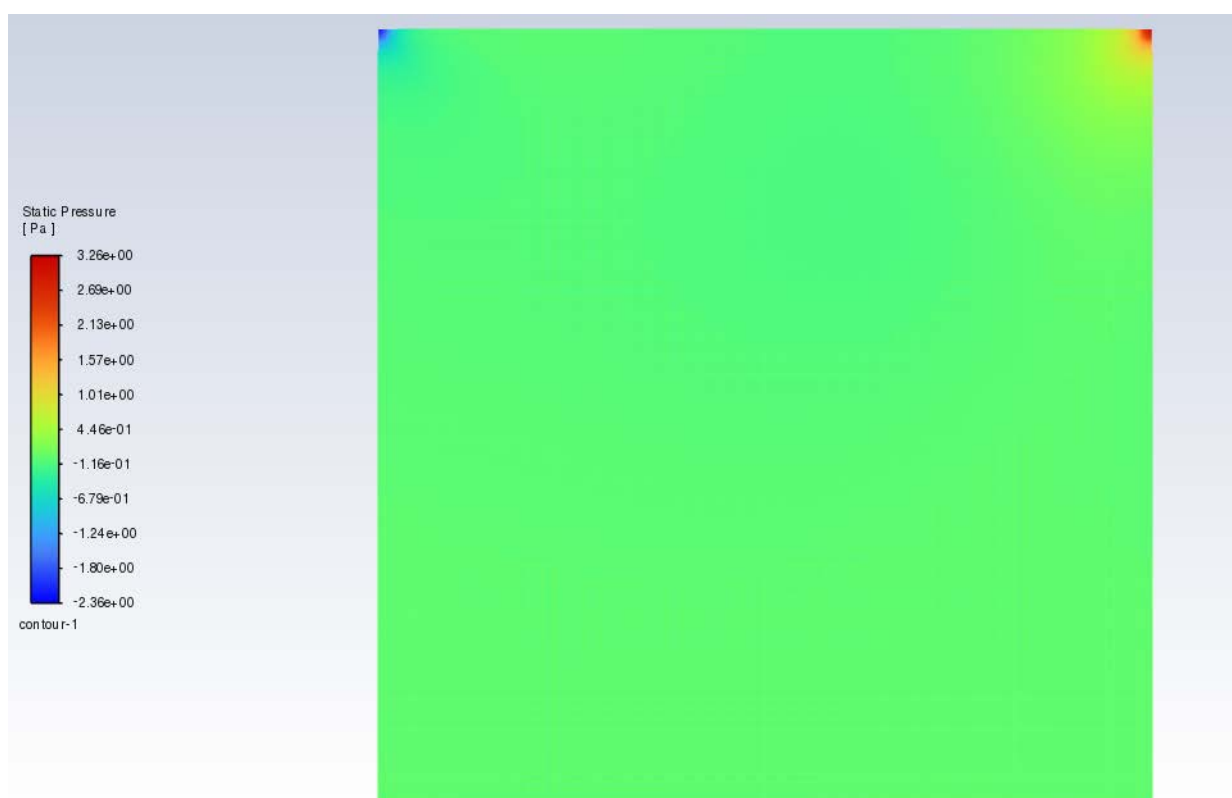


Рис. 4. Статическое давление для расчета Re100

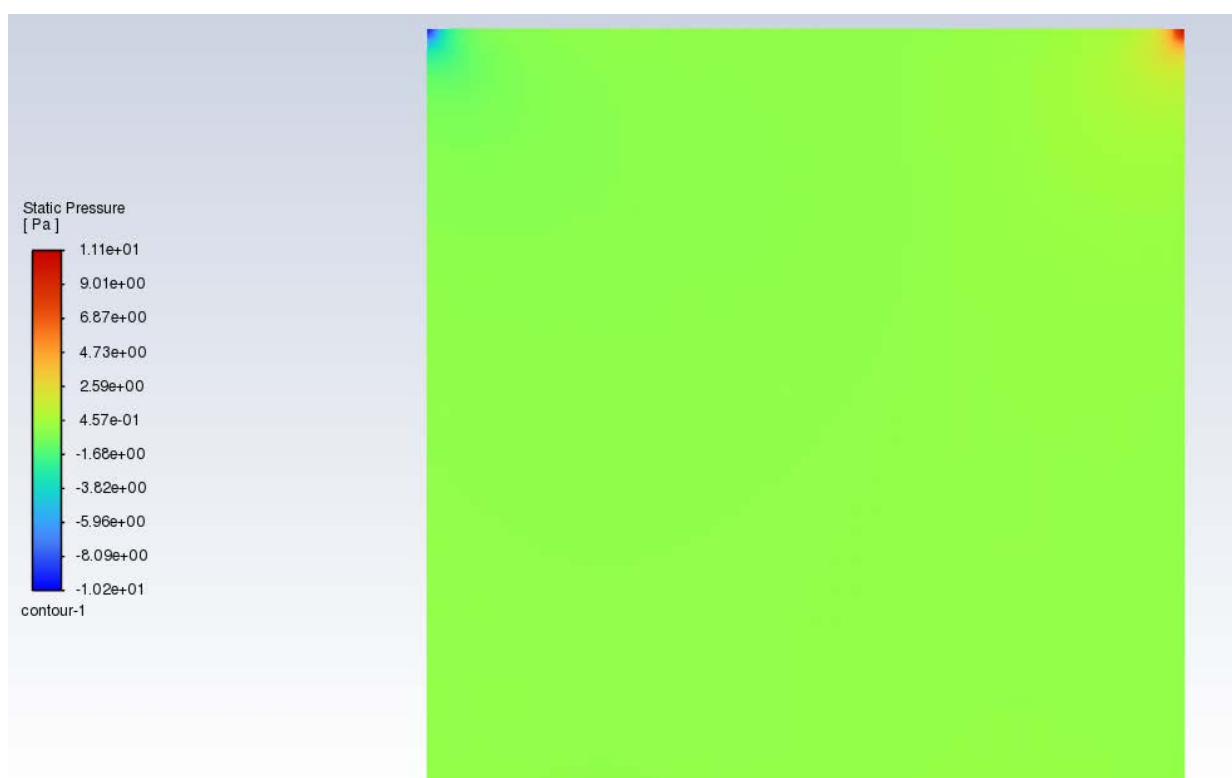


Рис. 5. Статическое давление для расчета Re400

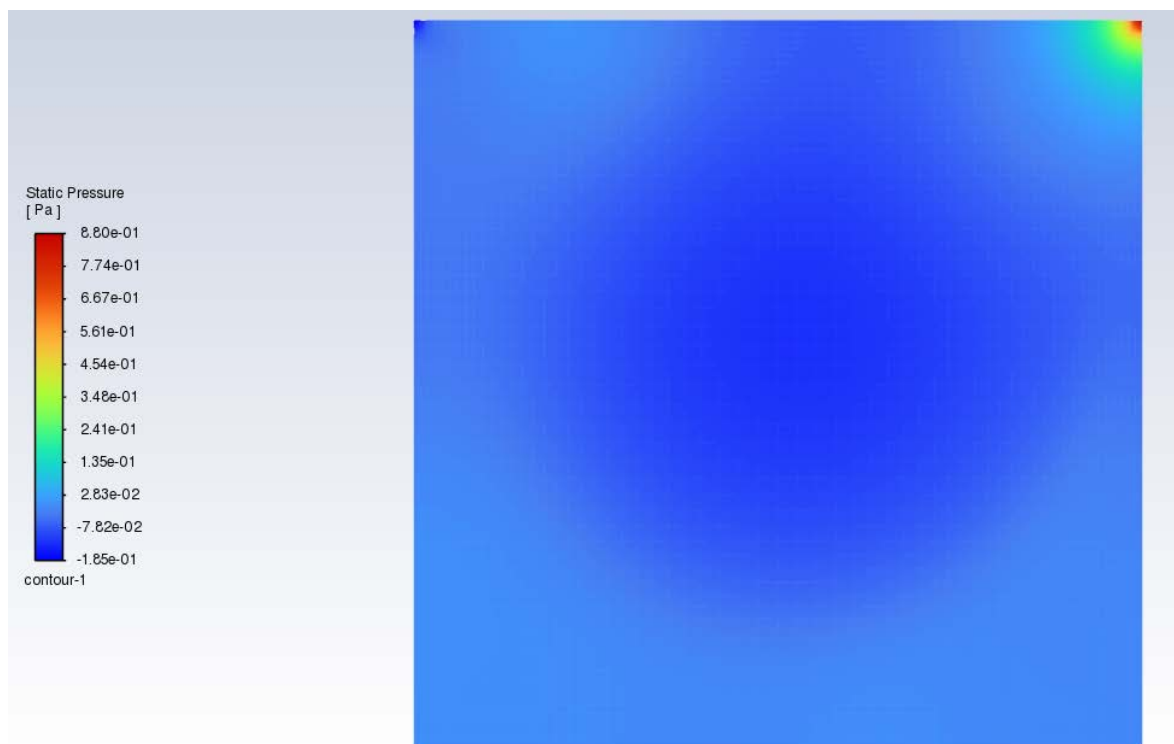


Рис. 6. Статическое давление для расчета Re1000

Проанализируем поля статического давления, приведенные на рисунках 4, 5, 6. Сразу можно заметить, что минимум и максимум давления достигается в верхних углах расчетной области. Это объясняется фактом, что в углах каверны, поле скорости не непрерывны (мы так задали ГУ). Поэтому в поле напряжений образуются сингулярные точки.

Также можно заметить, что в случаях, где число Рейнольдса ниже, а плотность соответственно выше, давление тоже будет выше.

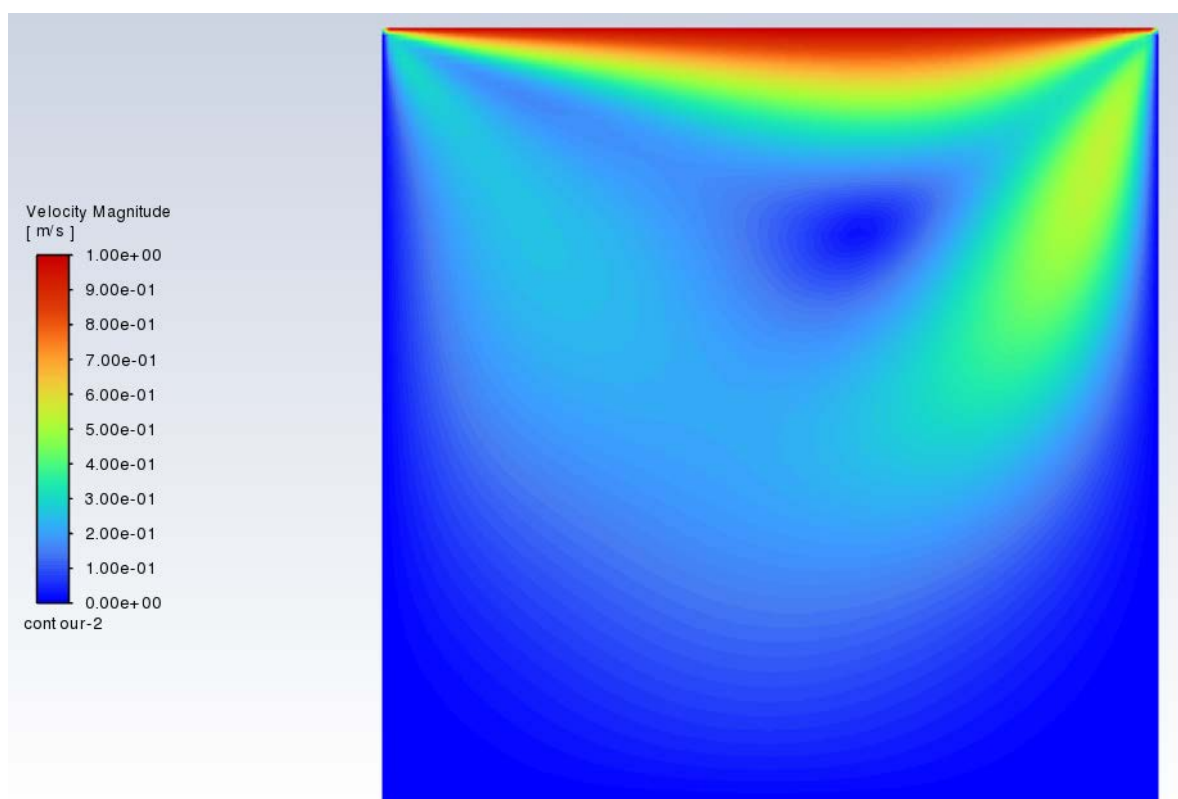


Рис. 7. Поле скоростей для расчета Re100

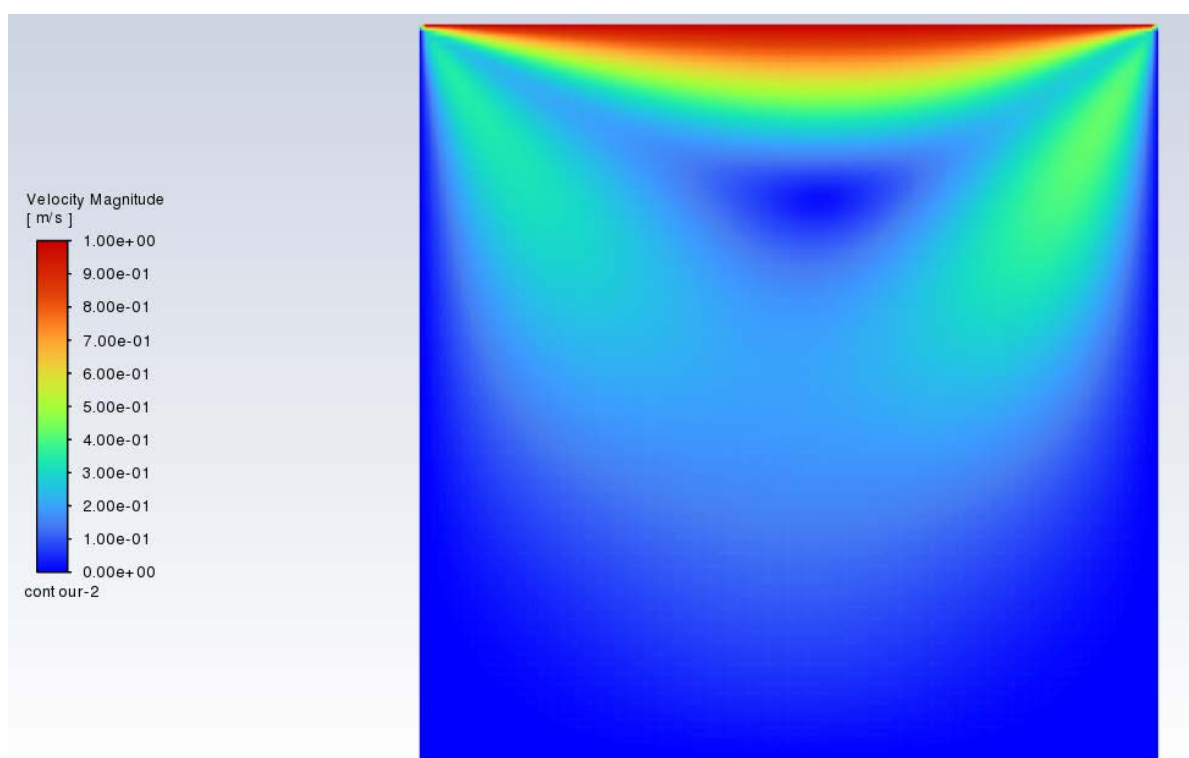


Рис. 8. Поле скоростей для расчета Re400

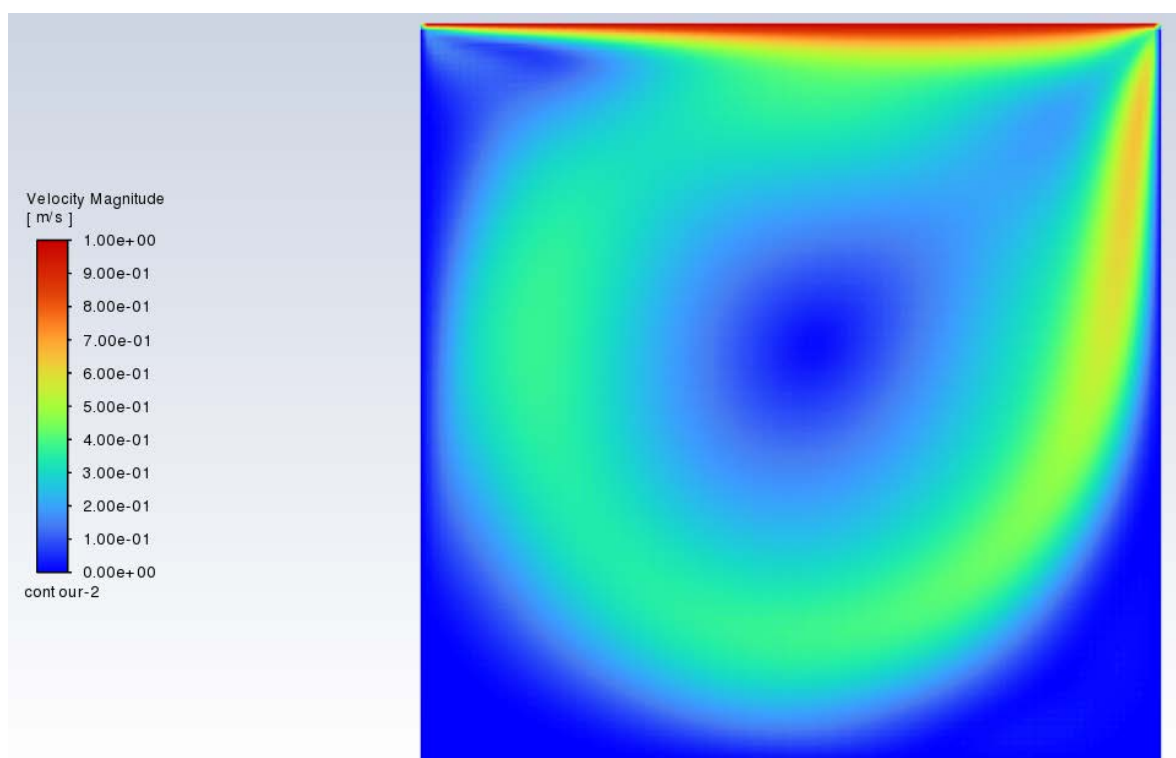


Рис. 9. Поле скоростей для расчета Re_{1000}

При всех расчетах были получены поля скоростей с образованием вихря, однако с увеличением числа Рейнольдса вихрь смещается от верхнего правого угла к центру расчетной области. Также при увеличении числа Рейнольдса мы можем наблюдать, что скорость на верхней грани области начинает занимать все меньше пространства расчетной области.

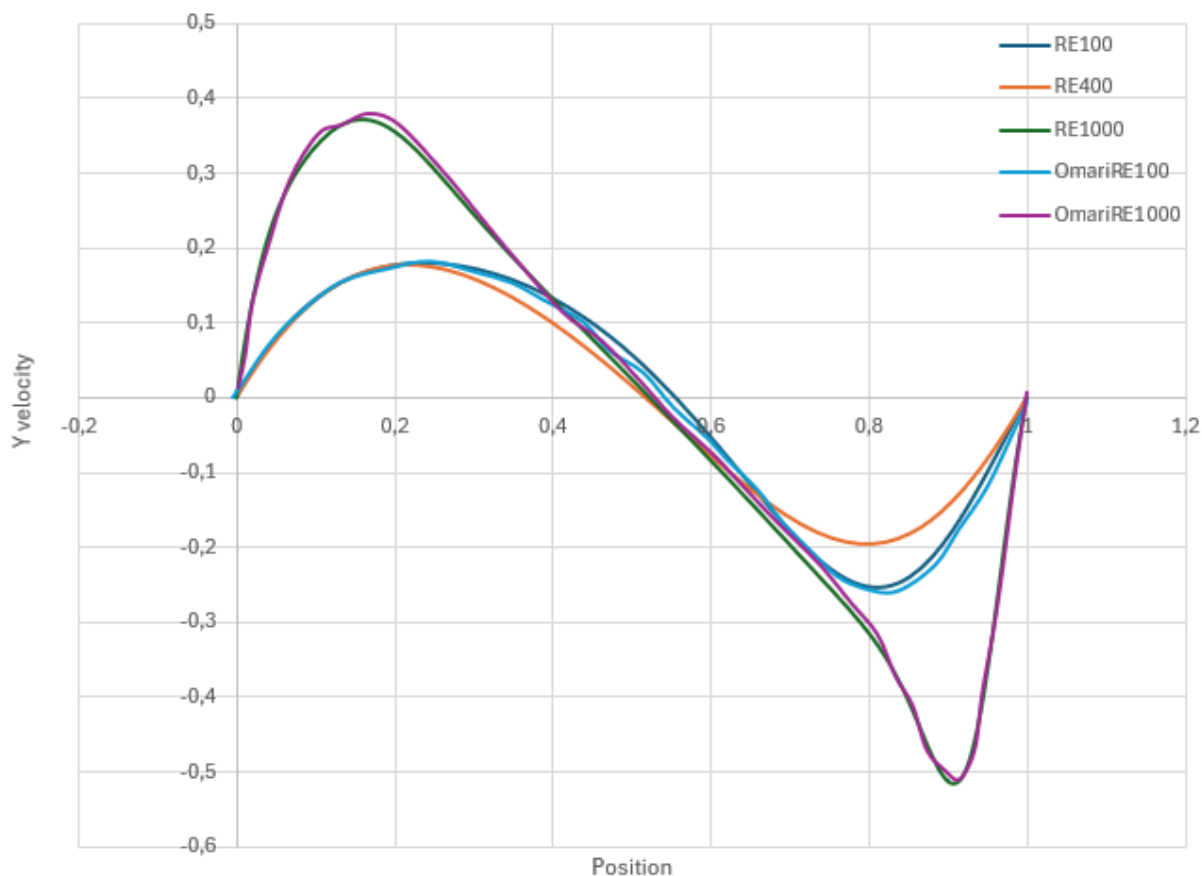


Рис. 10. Значение скоростей Y по средним линиям.

Проанализировав полученные скорости по Y , можно сделать вывод, что экспериментальные данные сходятся с данными, полученными Реядом Омари, а следовательно расчеты проведены верно. Помимо этого, можно наблюдать, что при увеличении числа Рейнольдса амплитуда начинает увеличиваться.

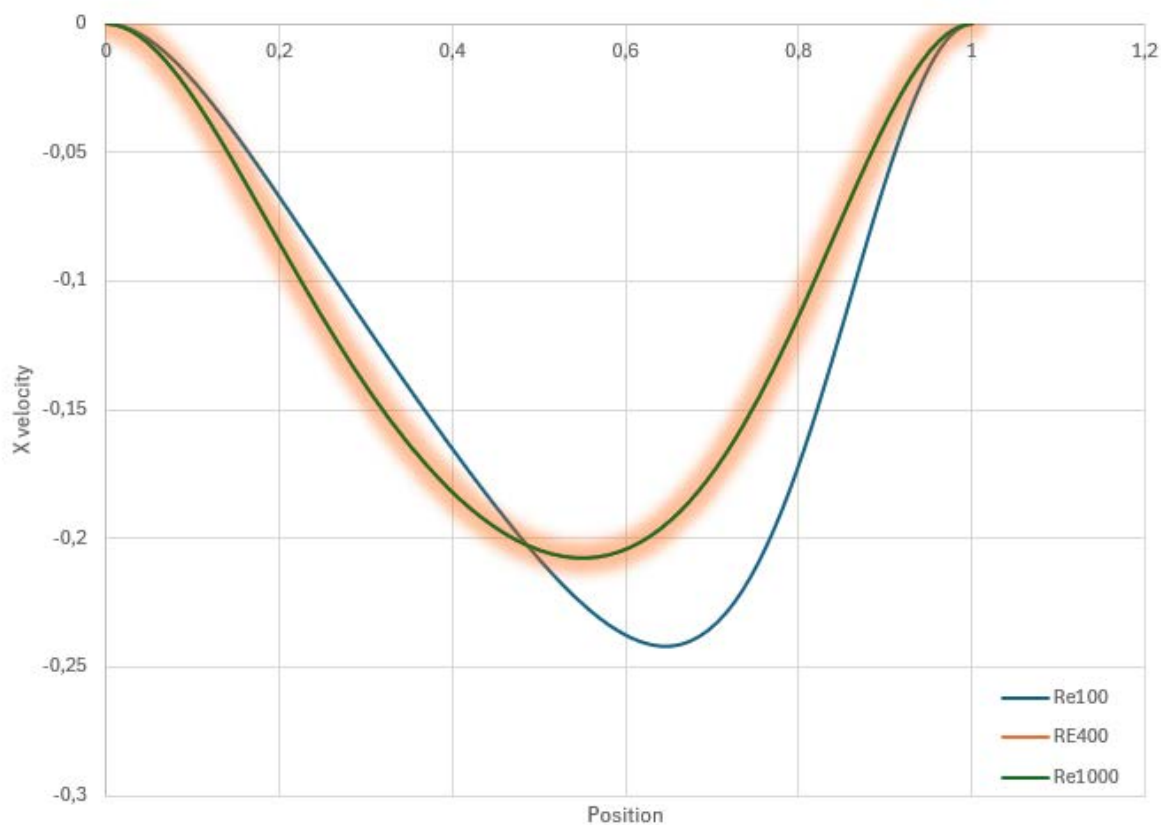


Рис. 11. Значение скоростей X по средним линиям.

Далее рассмотрим скорости по X. Здесь можно также наблюдать увеличение амплитуды, но только при уменьшении числа Рейнольдса, а после какого-то момента, после $Re = 400$ они и вовсе начинают совпадать. Также благодаря этим графикам можно заметить смещение вихря.

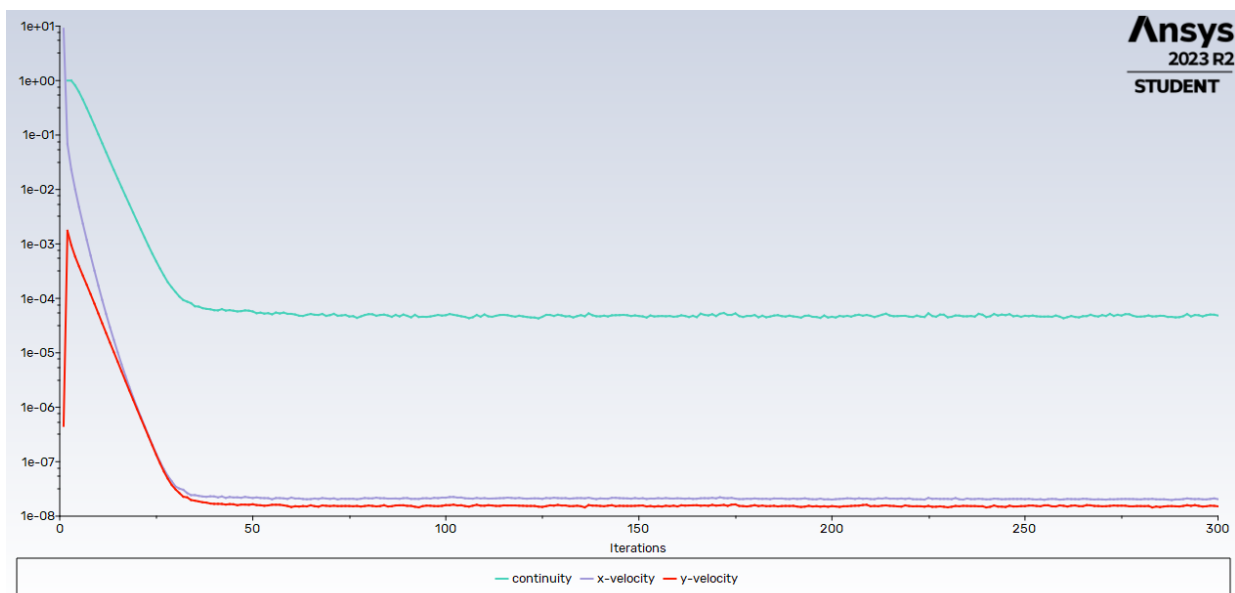


Рис. 12. Графики сходимости при Re_{100}

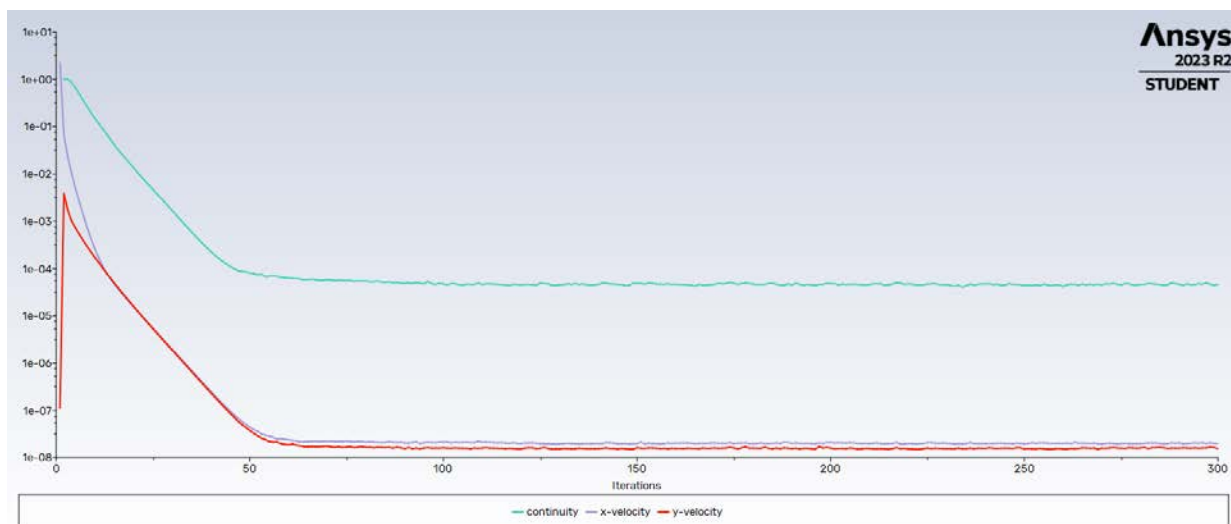


Рис. 13. Графики сходимости при Re_{400}

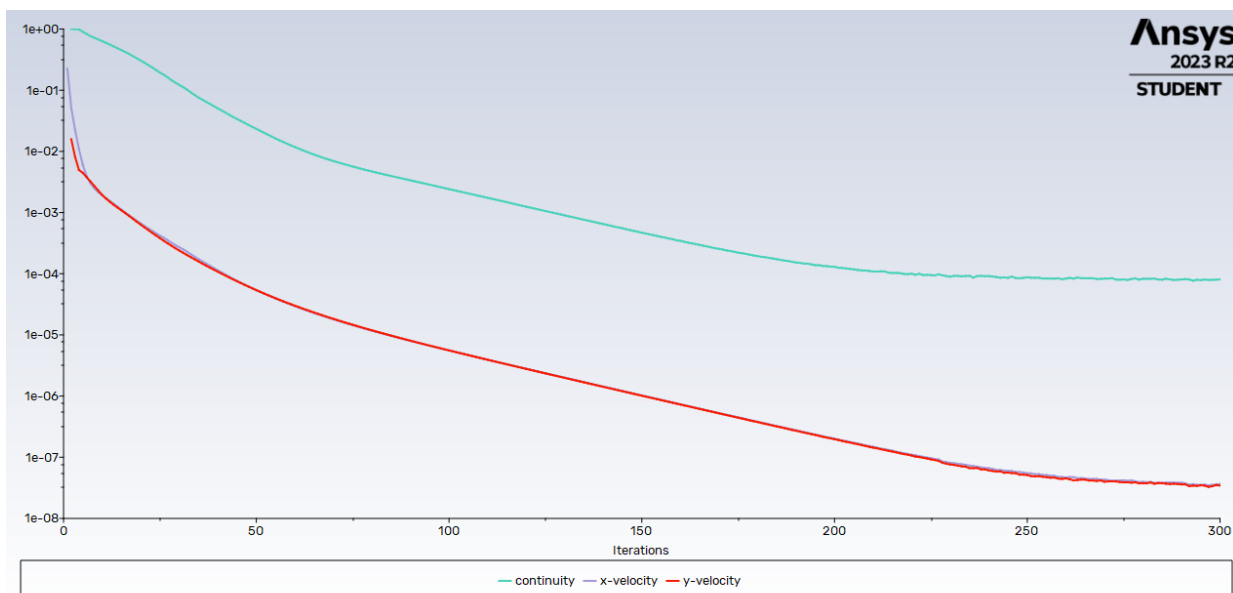


Рис. 13. Графики сходимости при $Re=1000$

Для построения достаточно хорошего решения была использована двойная точность. При этом для сходимости каждый раз требовалось все больше и больше итераций.

Во всех трех вычислениях графики невязок скоростей сошлись к значениям близким к машинному эпсилон. На графиках четко видно, что большие значения числа Рейнольдса требуют больше итераций. Это объяснимо тем, что чем больше узлов сетки находятся к границам системы, тем они медленнее сходятся к решению из-за наличия сингулярных точек.

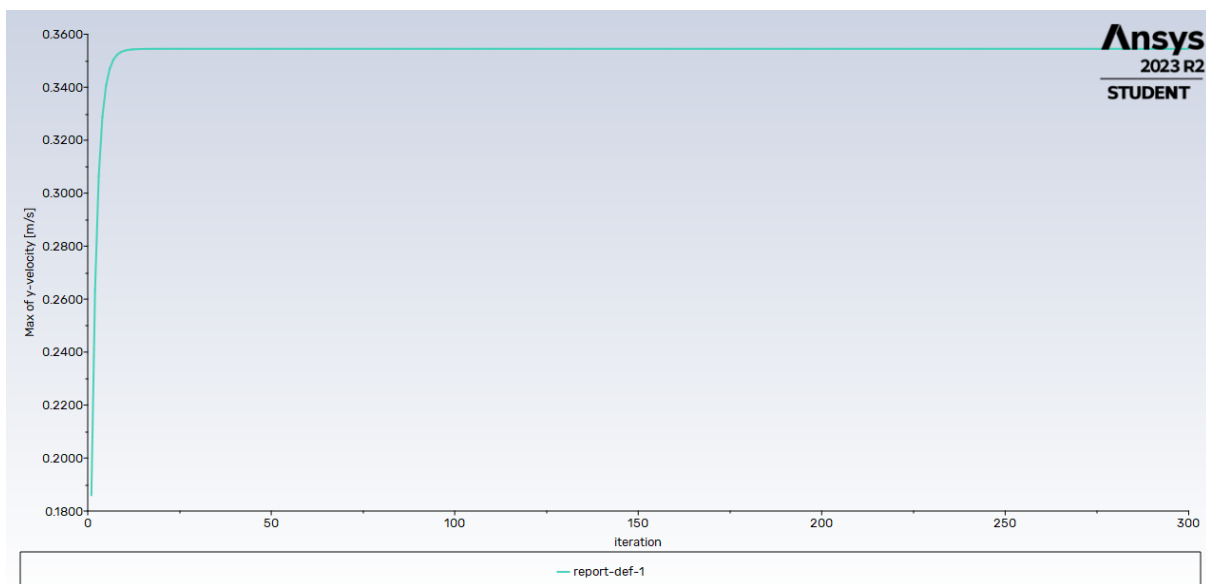


Рис. 14. графики установления верт. сост. Скорости при Re100

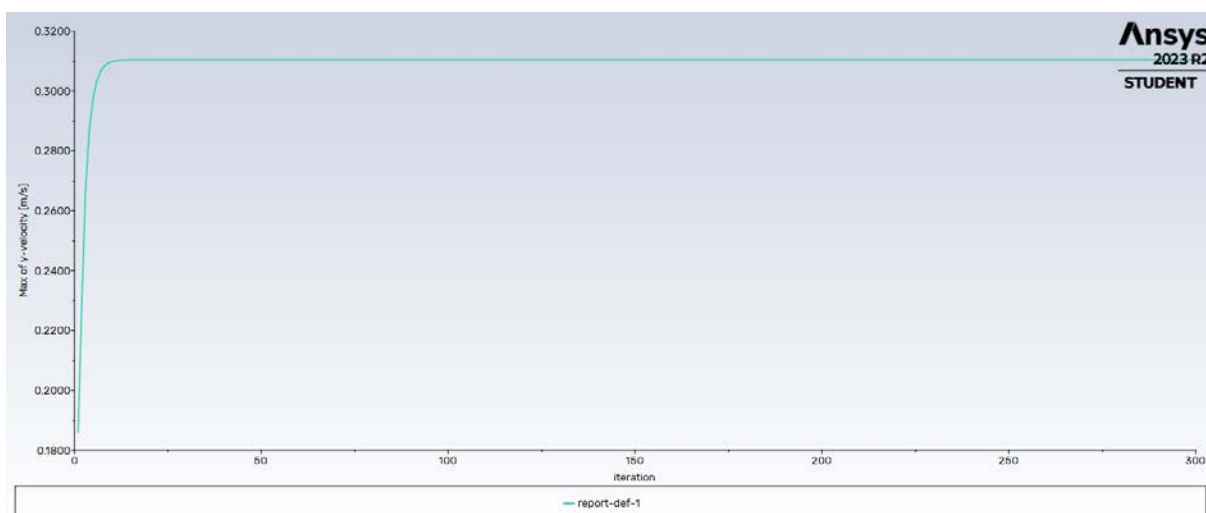


Рис. 15. графики установления верт. сост. Скорости при Re400

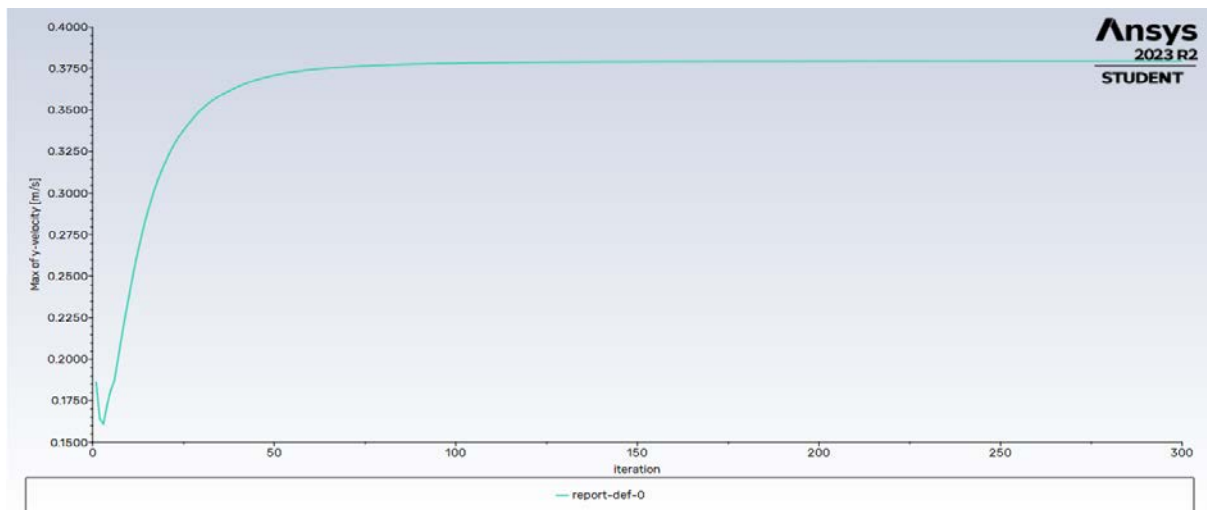


Рис. 16. графики установления верт. сост. Скорости при $Re1000$

Рассмотрев внимательно графики 14 – 16 можно заметить, что они довольно гладкие, а значит, вблизи границ у нас нет седловых точек, а значит сходимость будет хорошей.

4. Заключение.

Выделяется область повышения давления в правом верхнем углу, где жидкость «прилипшая» к подвижной верхней стенке сталкивается с неподвижной правой границей. Выполняется закон баланса количества движения.

На основе результатов и их анализа, можно сделать вывод, что в зависимости от того, какой конкретно результат мы хотим получить, в зависимости от того, где должен находиться вихрь, мы и подбираем число Рейнольдса, помимо этого желательно для решения задачи взять как можно больше число итераций для лучшей сходимости.

В ходе работы было проведено моделирование ламинарного течения несжимаемой жидкости в определенной области с подвижной верхней крышкой при различных параметрах числа Рейнольдса в Ansys Fluent. Было визуализировано поле скорости и давления и их зависимости от числа Рейнольдса в центральном сечении. Полученные результаты проанализированы, сверены и написаны выводы.