

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

Отчет по лабораторной работе №2
тема «Развитие течения в канале»
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.

Выполнить расчет стационарного ламинарного течения несжимаемой жидкости в начальном участке плоского канала для разных значений числа Рейнольдса; сопоставить расчетные длину начального участка и коэффициент сопротивления развитого течения с результатами аналитического решения.

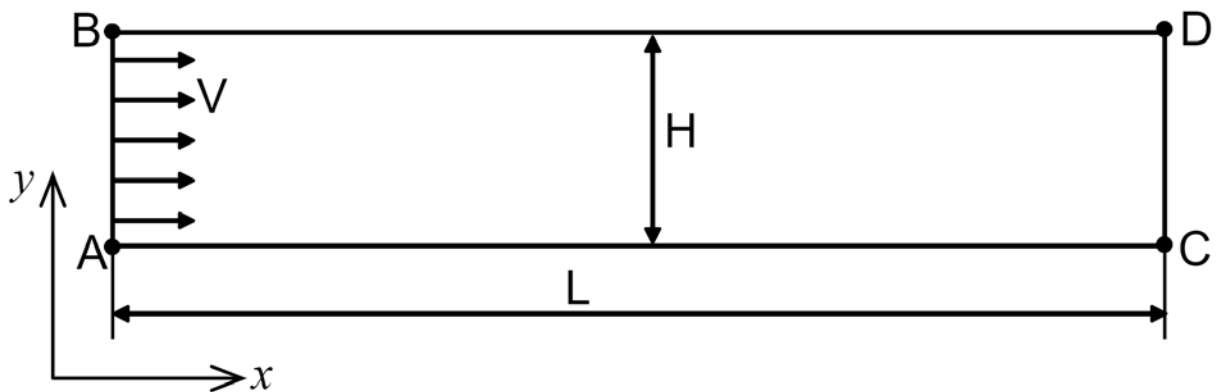


Рис. 1. Расчетная область для исследования начального участка плоского канала.

На рисунке представлена расчетная область – плоский канал ABCD высотой H и длиной L с числом калибров $L/H = 20$. Границами расчетной области служат ребро AB – вход в канал, ребра AC и BD – стенки канала, ребро CD – выход из канала. Через границу AB подается однородный поток со скоростью $V_{\text{вх}}$. Течение определяется одним безразмерным режимным параметром – числом Рейнольдса Re .

Для расчетов в шестом варианте принимаем следующие исходные данные:

$$L = 2 \text{ м}$$

$$H = 0.1 \text{ м}$$

$$V_{\text{вх}} = V_x = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$Re = 150; 250; 450$$

$$\text{Number of Divisions} = [AB, CD] = 20 \times 60$$

$$\text{Bias Growth Rate} = 1.1 \times 1.07$$

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 2 м и высотой 0.1 м – в модуле Geometry – DesignModeler.

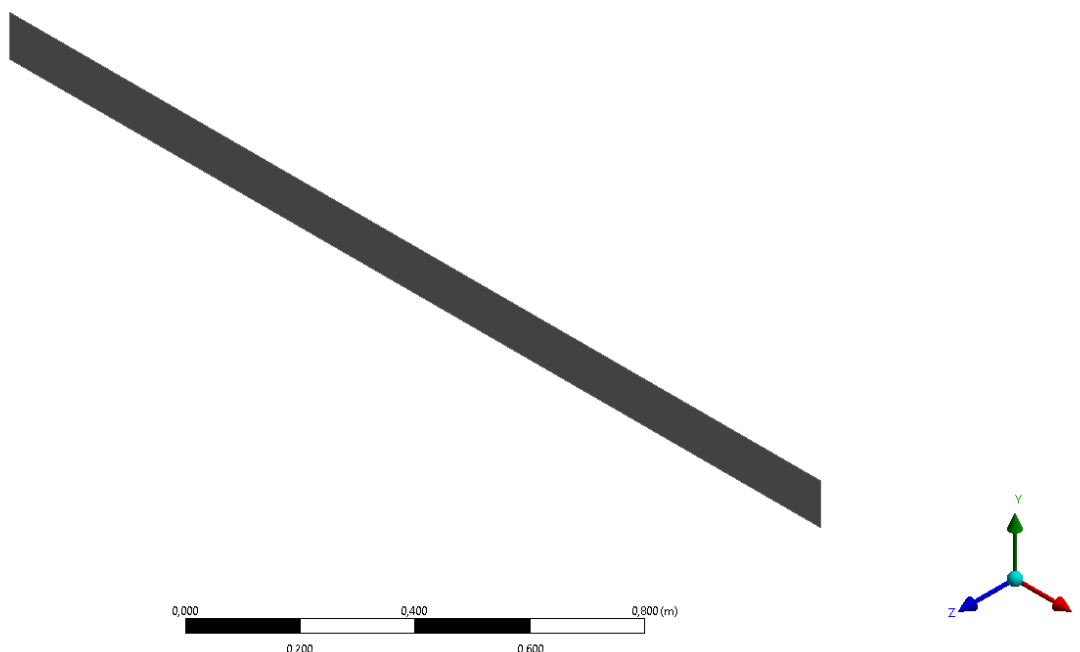


Рис. 2. Геометрия прямоугольной полости.

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. Для более точного рассмотрения течения мы сгустили сетку у входа в канал, потому что там наблюдаются высокие градиенты.

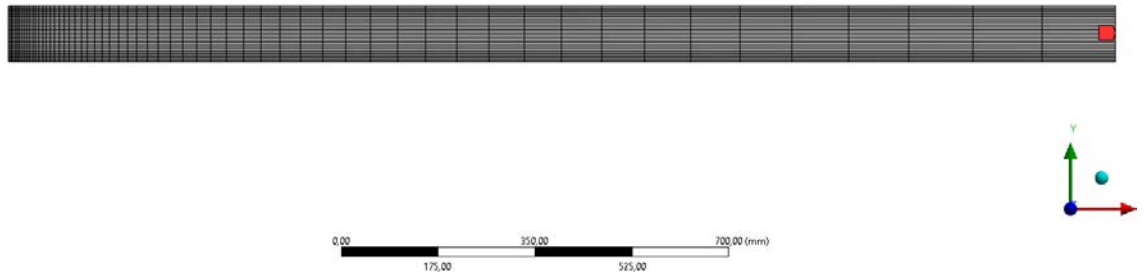


Рис. 3. Сетка для расчетной области. Bias Growth Rate 1.04

Дополнительно в этом модуле создаем Named Selections для всех 4 сторон.

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 $\rho = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \text{const}$. Динамический коэффициент вязкости μ можно получить из формулы для числа Рейнольдса:

$$\mu_1 = \frac{0.1}{Re_1} = 0.00067, \mu_2 = \frac{0.1}{Re_2} = 0.0004, \mu_3 = \frac{0.1}{Re_3} = 0.00022$$

Поскольку в нашей постановке задачи меняется число Рейнольдса Re , то именно эту настройку мы будем изменять для различных вариантов. Для задания ГУ переходим в блок BC – Wall – “Name Selection” – Type – Velocity-Inlet и задаем там значение $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ для левой стенки. И для левой Type – Pressure-Outlet и задаем там значение 0 Па.

При запуске первого расчета в некоторой геометрии нужно стартовать с начальных полей Initialize – Standard, X Velocity = 1 м/с.

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

3. Результаты.

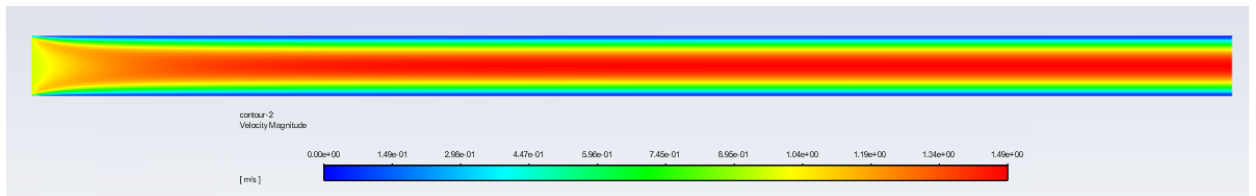


Рис. 4.1. Поле скоростей для расчета Re150

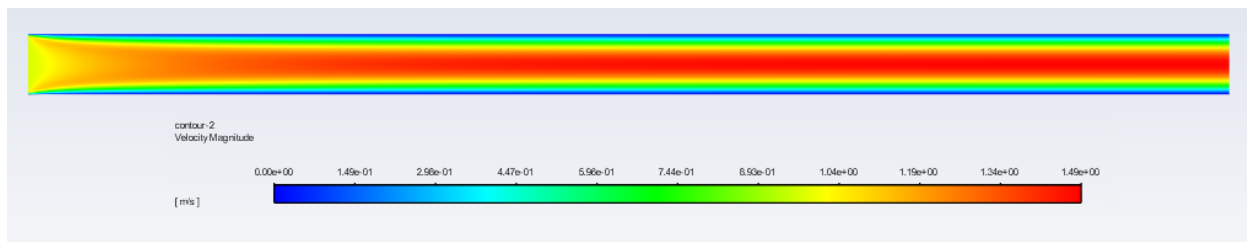


Рис. 5.1. Поле скоростей для расчета Re250

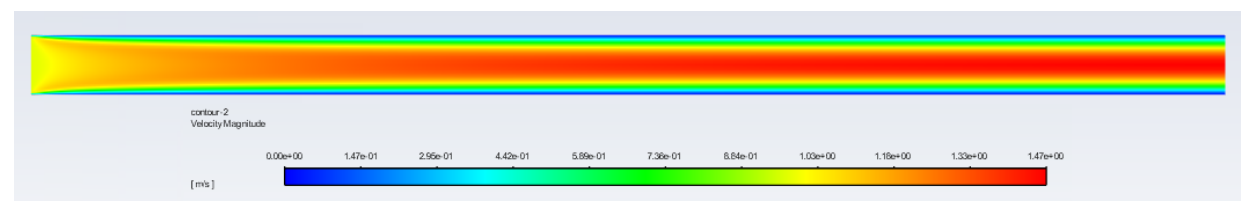


Рис. 6.1. Поле скоростей для расчета Re450

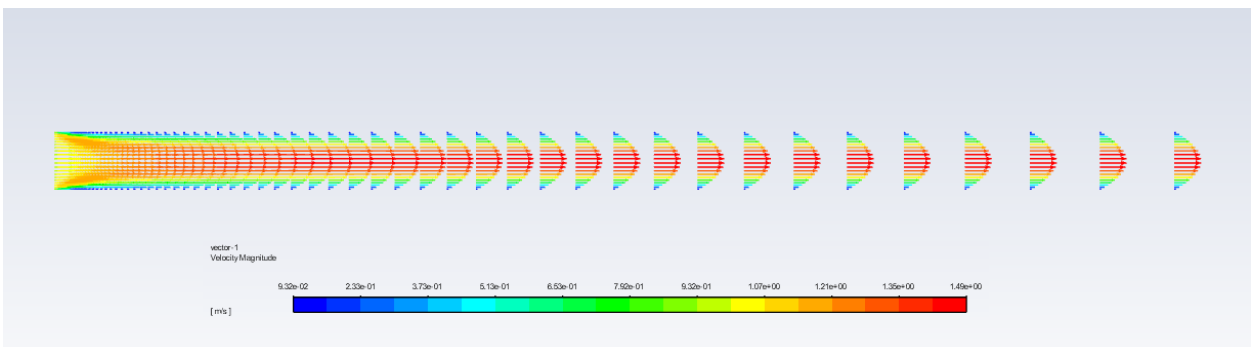


Рис. 4.2. Поле скоростей для расчета Re150 в векторном виде

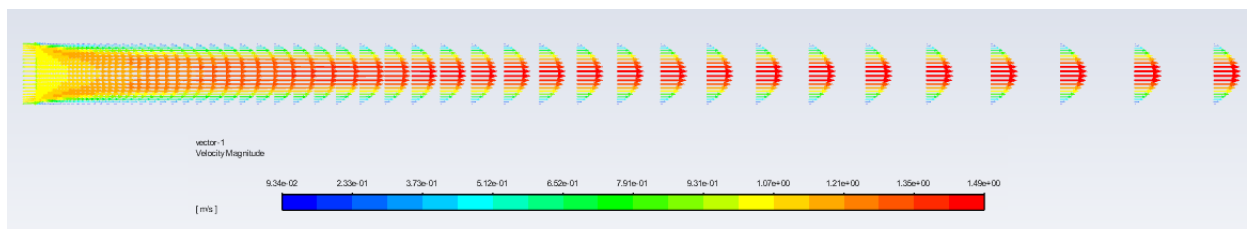


Рис. 5.2. Поле скоростей для расчета Re250 в векторном виде

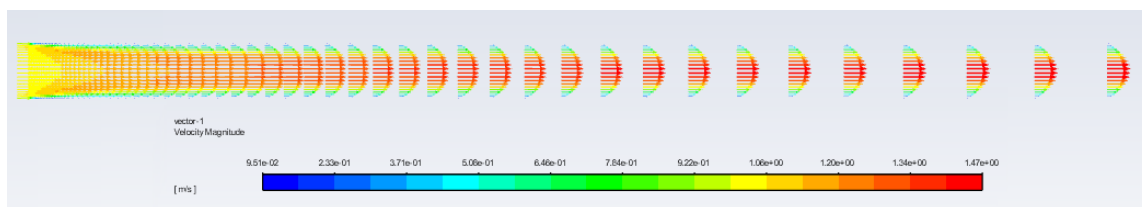


Рис. 6.2. Поле скоростей для расчета Re450 в векторном виде

При всех расчетах были получены поля скоростей и давлений. Помимо этого, были получены графики горизонтальной компоненты скорости вдоль средней линии канала.

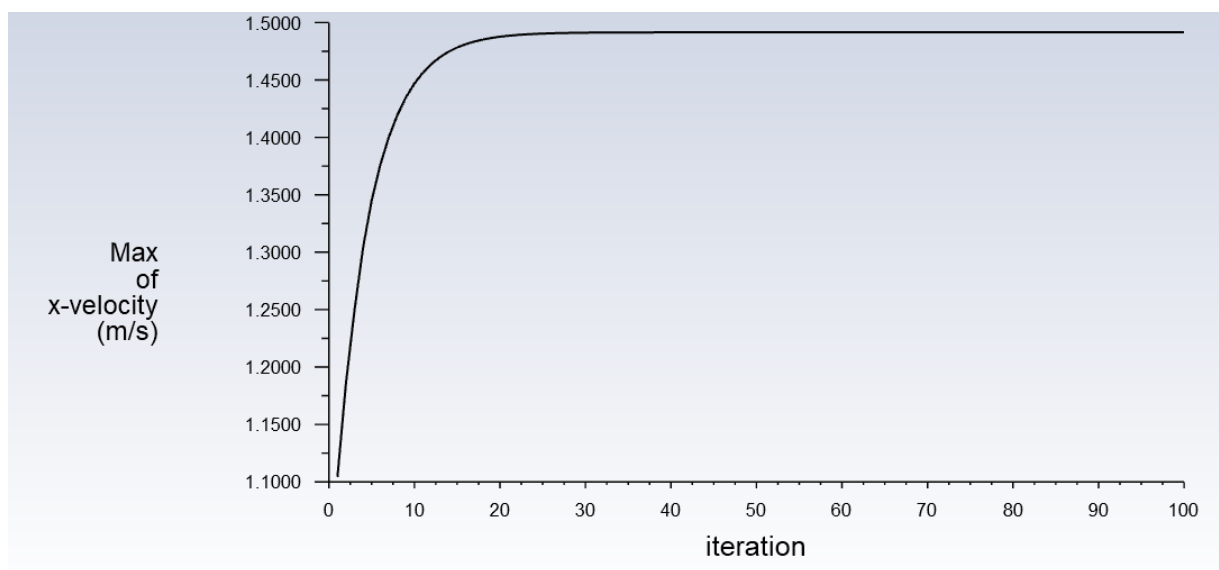


Рис. 7. Горизонтальная компонента скорости вдоль средней линии канала для расчета Re150.

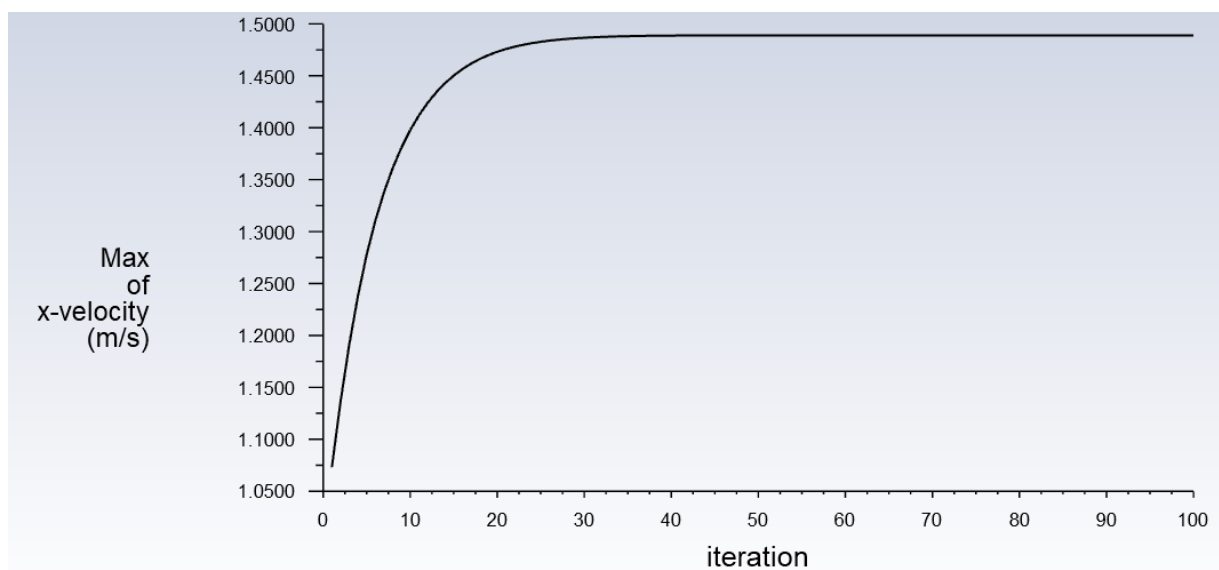


Рис. 8. Горизонтальная компонента скорости вдоль средней линии канала для расчета Re250

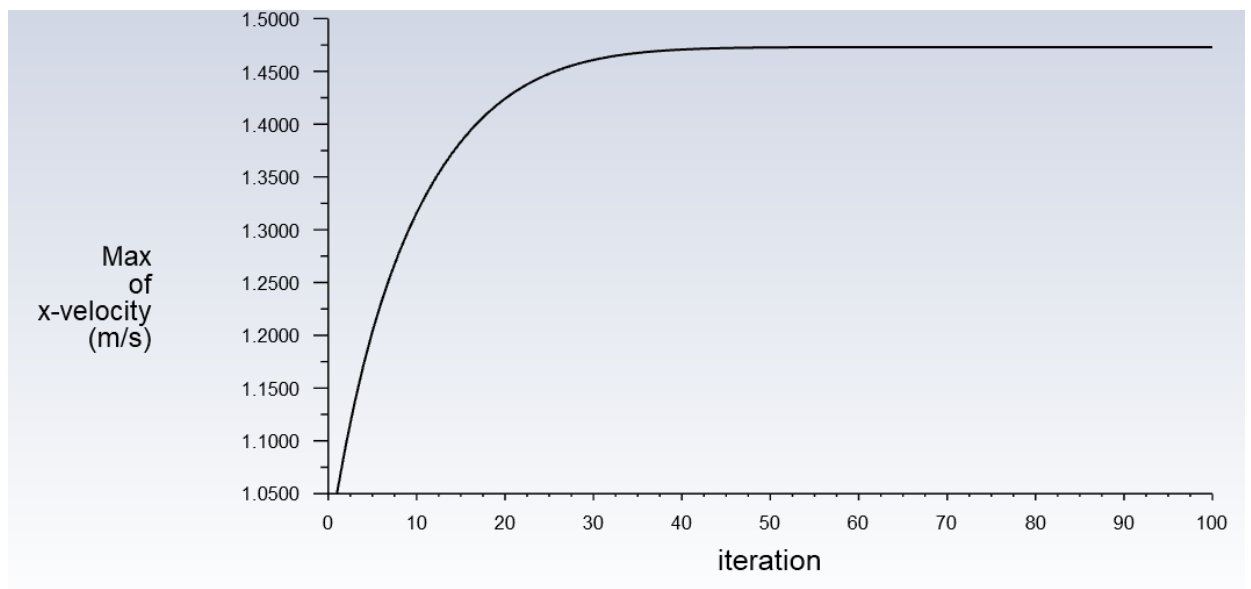


Рис. 9. Горизонтальная компонента скорости вдоль средней линии канала для расчета Re450.

Можно заметить, что с увеличением числа Рейнольдса на графиках увеличивается длина начального участка.

Далее рассмотрим полученные давления.

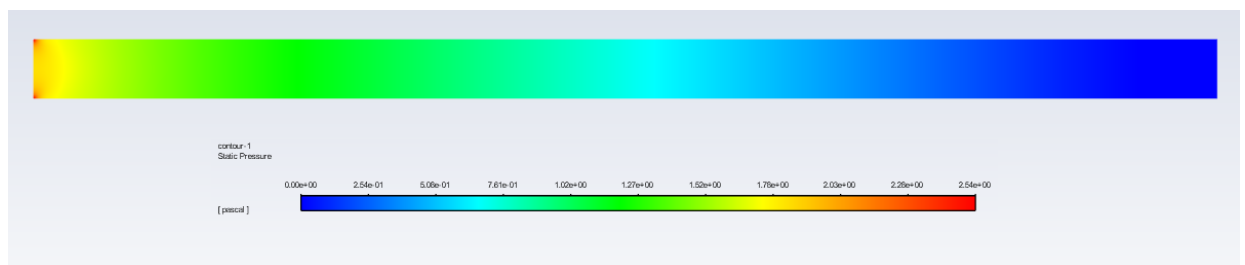


Рис. 10. Статическое давление для расчета Re150

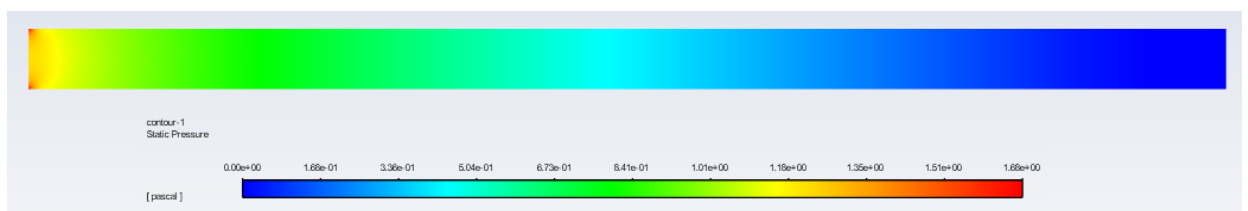


Рис. 11. Статическое давление для расчета Re250

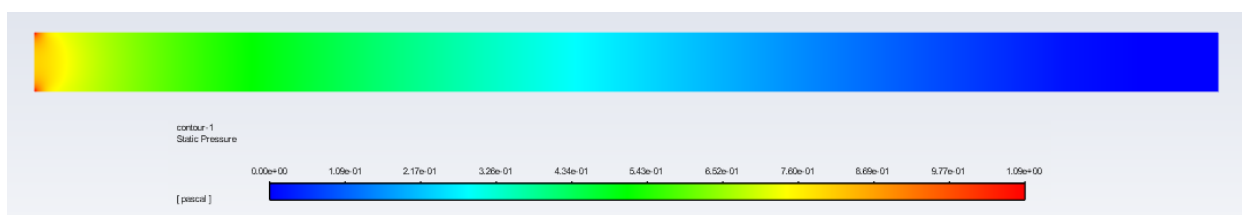


Рис. 12. Статическое давление для расчета Re450

Также были получены график распределения избыточного давления вдоль средней линии канала.

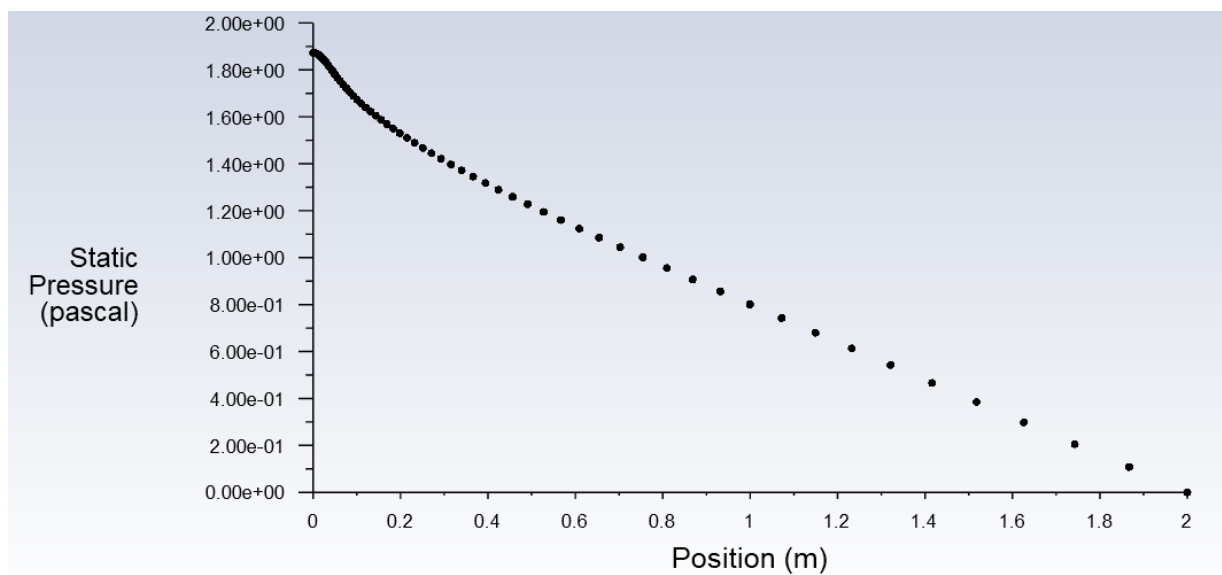


Рис. 13. График распределения избыточного давления вдоль средней линии канала при Re150

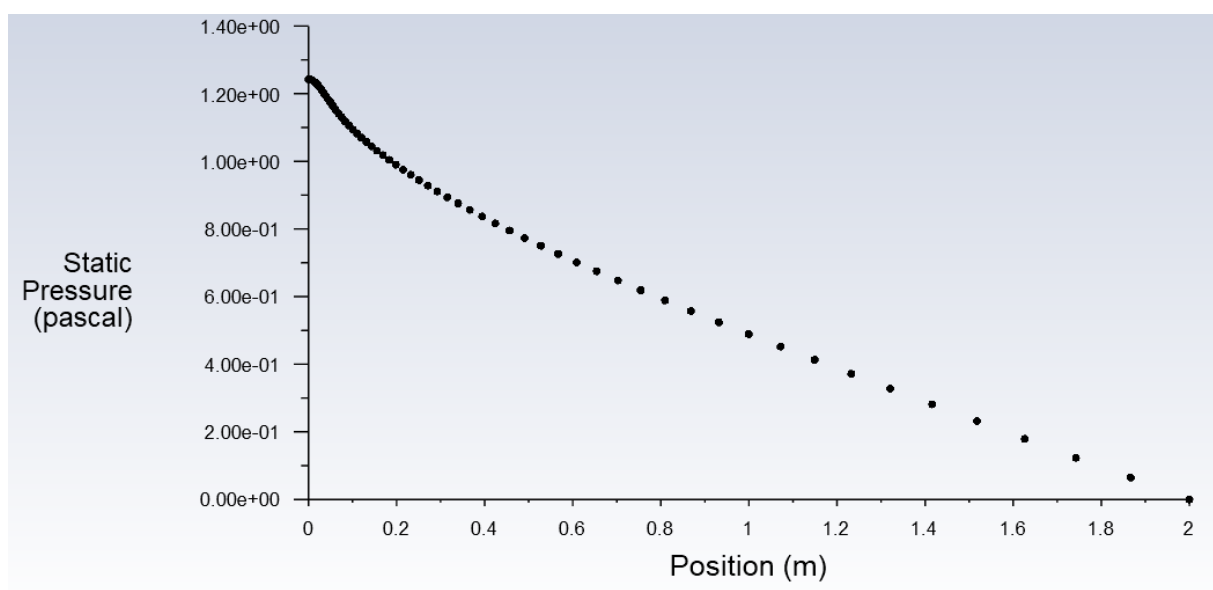


Рис. 14. График распределения избыточного давления вдоль средней линии канала при Re250

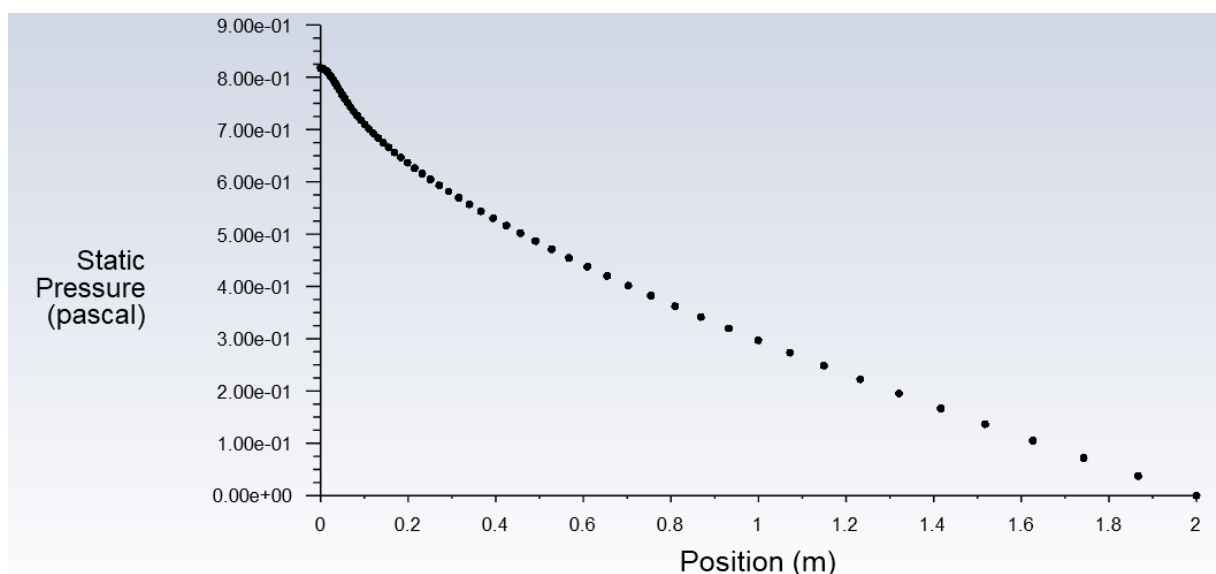


Рис. 15. График распределения избыточного давления вдоль средней линии канала при Re_{450}

На графиках явно заметно, что чем больше становится число Рейнольдса, тем ниже становится изначальное давление, это связано с тем, что частицы все меньше налипают на стенки трубы.

Далее необходимо было построить графики зависимости коэффициента трения вдоль стенки относительно координаты x .

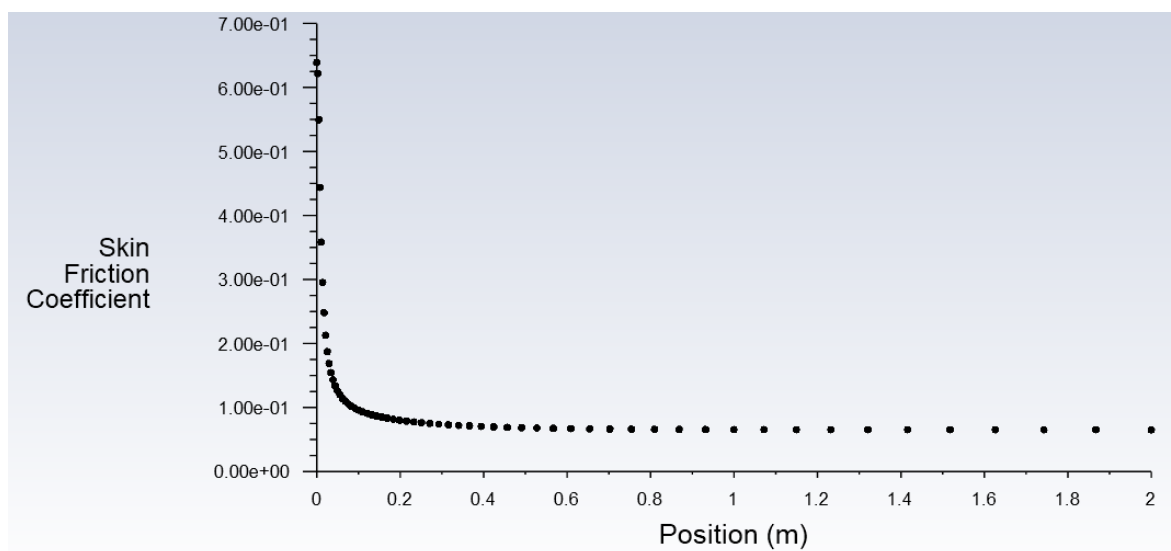


Рис. 16. График зависимости коэффициента трения вдоль стенки от координаты при Re_{150}

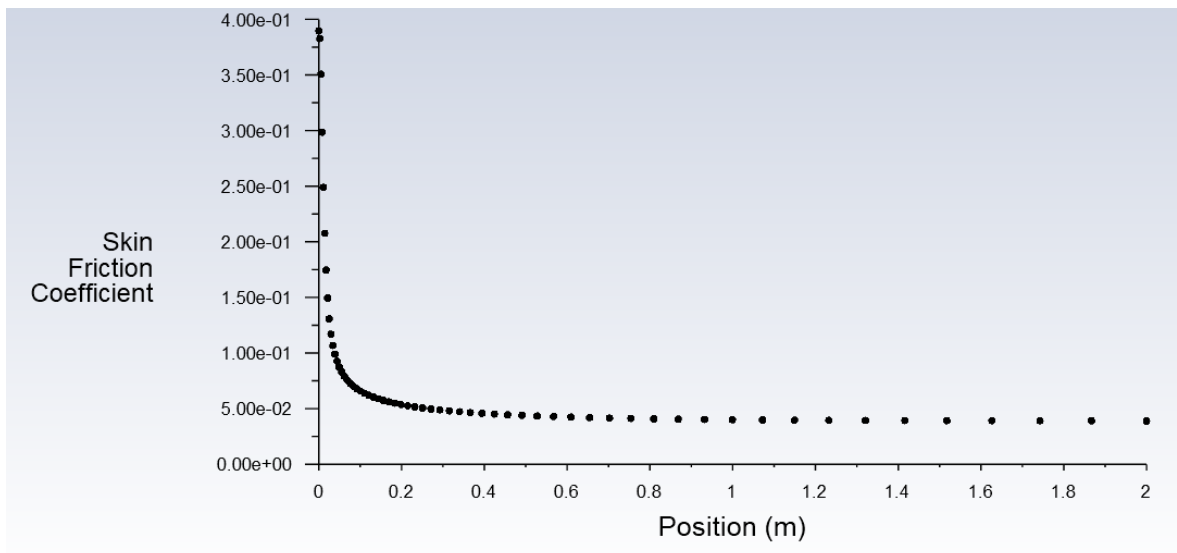


Рис. 17. График зависимости коэффициента трения вдоль стенки от координаты при Re_{250}

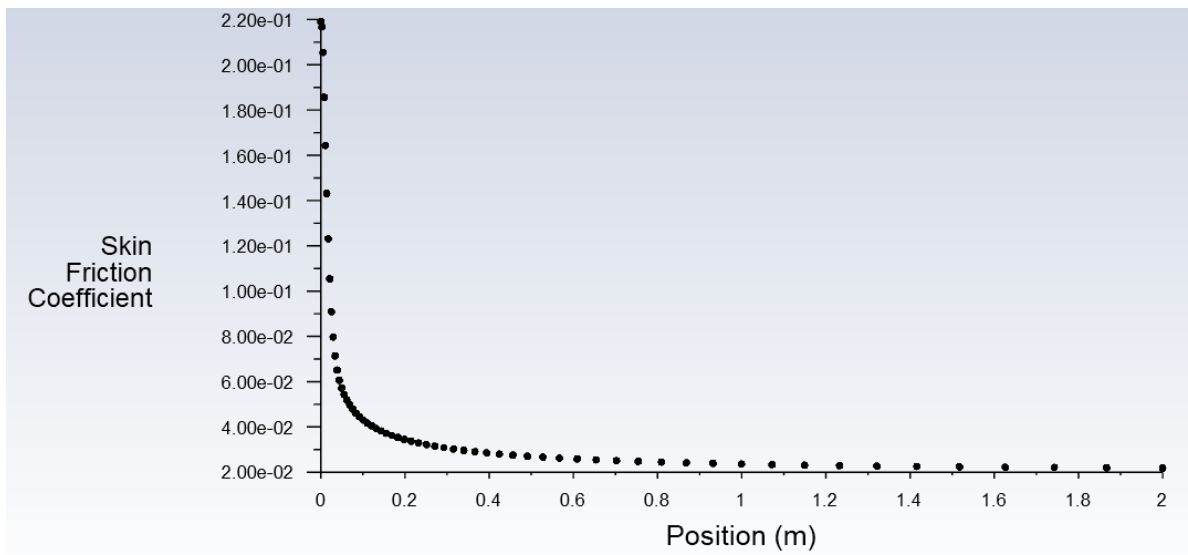


Рис. 18. График зависимости коэффициента трения вдоль стенки от координаты при Re_{450}

Из графиков видно, что при увеличении силы трения, также уменьшается коэффициент трения о стенки трубы, а следовательно, и сила трения.

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.

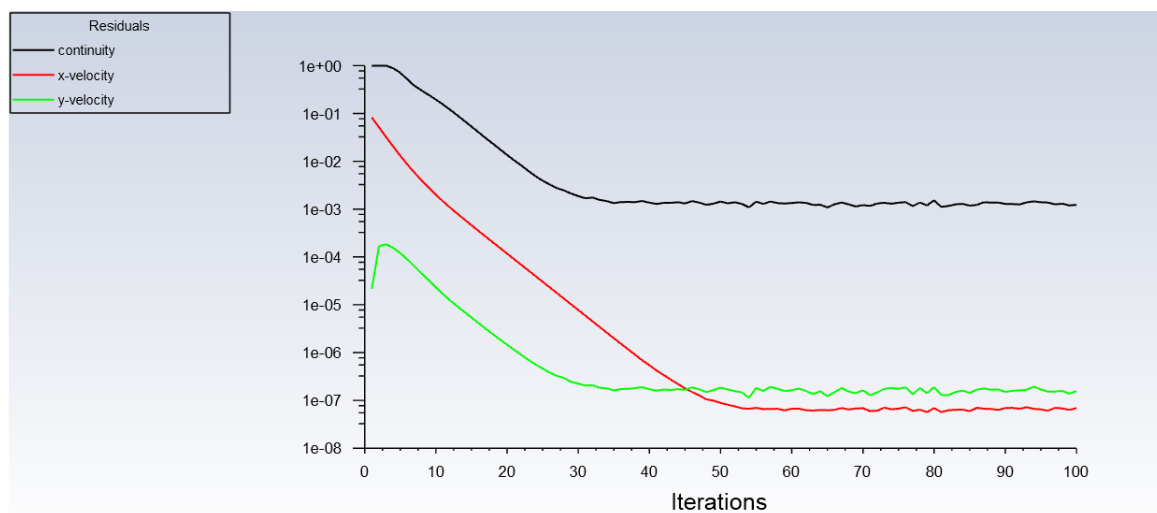


Рис. 19. Графики сходимости скорости и ее компонент при $Re150$

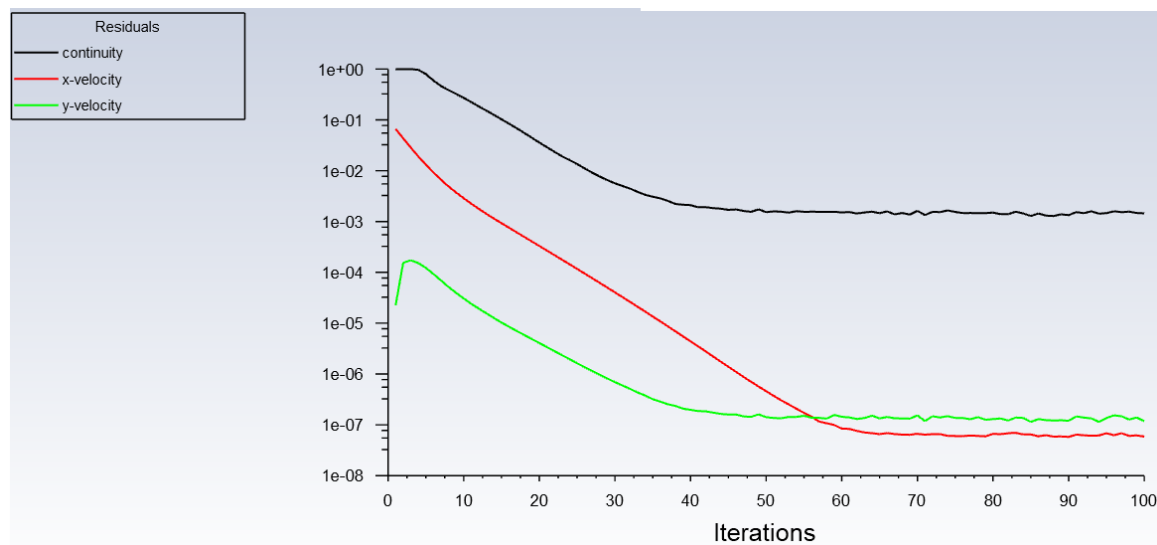


Рис. 20. Графики сходимости скорости и ее компонент при $Re250$

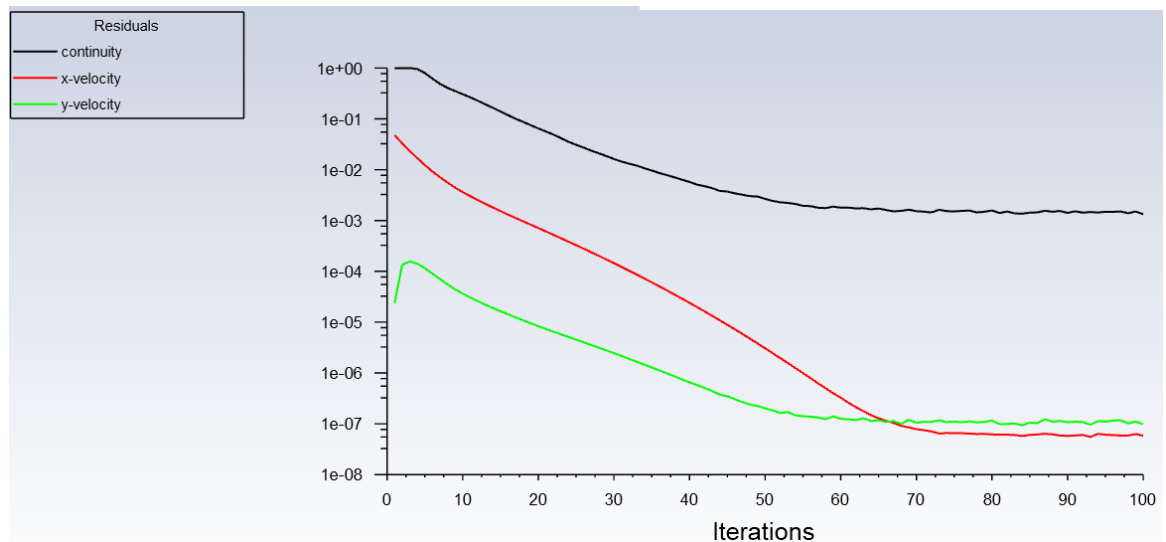


Рис. 21. Графики сходимости скорости и ее компонент при Re450

Рассмотрев внимательно графики 18–21 можно заметить, что они довольно гладкие, а значит, вблизи границ у нас нет седловых точек, а значит сходимость будет хорошей.

Далее проведем аналитические расчеты. По распределению давления вдоль средней линии канала найдем коэффициент сопротивления λ для начального участка λ_{12} , участка с установившимся параболическим профилем скорости λ_{13} и канала в целом λ_{23} , выразив коэффициент сопротивления из формулы:

$$\Delta p = \lambda \frac{\Delta L}{H} \frac{\rho V_{cp}^2}{2}$$

где Δp – перепад давления на участке канала длиной ΔL , $\rho = const$ – плотность жидкости, V_{cp} – средняя по поперечному сечению скорость.

Упрощая вышеизложенную формулу путем подстановки некоторых известных значений, можем получить следующие формулы коэффициентов сопротивления для описанных участков:

$$\lambda_{12} = \frac{2(p_1 - p_2)H}{L - L_2}$$

$$\lambda_{13} = \frac{2p_1 H}{L}$$

$$\lambda_{23} = \frac{2p_2 H}{L - L_2}$$

В таблице 2 эти коэффициенты сопротивления для трех участков сопоставляются с теоретическим значением $\lambda = 24/Re$.

Параметр	Формула	Результаты		
		Re=150	Re=250	Re=450
V_{max}	-	1,492	1,489	1,471
V_2	$0.98V_{max}$	1,462	1,460	1,444
L_2	-	0,561	0,89	1,481
L_2^*	$0.04Re \cdot H$	0,6	1	1,8
δL	$100 \cdot \frac{ L_2^* - L_2 }{L_2^*}$	6,5	11	17,72
p_1	-	1,842	1,251	0,836
p_2	-	1,148	0,724	0,456
λ_{12}	$\frac{2(p_1 - p_2)H}{L_2}$	0,247	0,187	0,135
λ_{13}	$\frac{2p_1 H}{L}$	0,1842	0,1251	0,0836
λ_{23}	$\frac{2p_2 H}{L - L_2}$	0,159	0,1	0,063
λ	$24/Re$	0,16	0,096	0,053
δ_{12}	$100 \cdot \frac{ \lambda_{12} - \lambda }{\lambda}$	54,375	94,79	114,285
δ_{13}	$100 \cdot \frac{ \lambda_{13} - \lambda }{\lambda}$	15	30,3	57,7
δ_{23}	$100 \cdot \frac{ \lambda_{23} - \lambda }{\lambda}$	0,625	4,16	18,86
C_f	-	0,087	0,055	0,034
λ/C_f	-	1,83	1,745	1,558

4. Заключение.

В ходе проделанной вычислительной работы были получены распределения векторного поля скорости и его компонент в расчетной области при различных числах Рейнольдса. Значения коэффициентов трения и сопротивления для разных участков при разных числах Re , а также их сравнение с теоретическими результатами, занесены в таблицу 2. По данным упомянутой таблицы можно сделать следующие выводы:

- a) Максимальная скорость, достигаемая в трубе, уменьшается с ростом Re и все больше отличается от теоретической, равной $1.5V_{вх}$.
- b) Начальный участок канала увеличивается с ростом числа Рейнольдса.
- c) С ростом числа Рейнольдса относительные ошибки для коэффициентов сопротивления, вычисленных на разных участках, растут, однако, самой близким по значению к теоретическому коэффициенту сопротивления λ будет коэффициент сопротивления λ_{23} , вычисленный на участке развитого течения. Вывод: результаты для коэффициента сопротивления, посчитанные по формуле $\lambda_{23} = \frac{2p_2H}{L-L_2}$ для развитого участка течения хорошо согласуются с теоретическими значениями.
- d) При увеличении числа Re коэффициент трения становится все ближе по значению к половине теоретического коэффициента сопротивления (что утверждается теорией).