

Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого

Физико-механический институт

Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

по дисциплине
"Механика жидкости и газа"

Выполнил студент
Группы 5030102/90101

Руководитель:

Можаев А.А.

Синицина Д.Э.

Санкт-Петербург
2022 г.

Содержание

1. Лабораторная работа №1	5
1.1. Постановка задачи	5
1.2. Реализация	5
1.3. Результаты	6
1.3.1. Векторное поле скорости	6
1.3.2. Начальный участок канала	8
1.3.3. Поле нормированного давления	9
1.3.4. Коэффициент трения	10
1.4. Выводы	11
2. Лабораторная работа №2	12
2.1. Постановка задачи	12
2.2. Методические указания	12
2.2.1. Схема	12
2.2.2. Начальные и граничные условия	12
2.2.3. Сетка	13
2.2.4. Решение	13
2.3. Постпроцессинг	14
2.3.1. Эволюция вектора скорости и давления	14
2.3.2. Поля параметров в различные моменты времени	16
2.3.3. Число Струхала	20

Список иллюстраций

1	Поле скалярной скорости, зависящей от x для $Re=435$	6
2	Поле скалярной скорости, зависящей от y для $Re=435$	6
3	Поле векторной скорости для $Re=435$	7
4	Характеристики профиля скорости от x	7
5	Длина начального участка при $Re = 135, 235, 435$	8
6	Поле нормированного давления	9
7	Коэффициент трения	10
8	Расчетная область О-топологии для расчета нестационарного обтекания цилиндра	12
9	Расчетная сетка для расчета нестационарного обтекания цилиндра	13
10	Эволюция во времени продольной и поперечной компонент вектора скорости и давления	13
11	Изменение во времени x -компоненты вектора скорости v_x	14
12	Изменение во времени y -компоненты вектора скорости v_y	15
13	Изменение во времени давления p	15
14	Первый момент времени t_0	16
15	Второй момент времени $t_0 + T/4$	17
16	Третий момент времени $t_0 + T/2$	18
17	Четвертый момент времени $t_0 + 3T/4$	19
18	Зависимость числа Струхала от числа Рейнольдса	20

Список таблиц

1	Таблица начальных участков в сопоставлении с аналитическими	8
2	Таблица коэффициентов сопротивления в сопоставлении с аналитическими	9
3	Таблица коэффициентов трения в сопоставлении с аналитическими	10

1. Лабораторная работа №1

1.1. Постановка задачи

При анализе результатов расчетов следует (для всех рассмотренных значений Re):

- Проанализировать векторные поля скорости и скалярные распределения компонент скорости, проиллюстрировать изменение профиля скорости от входного к характерному для участка развитого течения.
- Оценить длину начального участка канала (в качестве границы начального участка следует выбрать сечение, в котором значение максимальной скорости составляет 98% от максимальной скорости развитого течения $V_{max} = 1.5V$); провести сопоставление полученных результатов по длине начального участка с аналитическим решением $\frac{L}{H} = 0.04 \cdot Re$; представить результаты в виде таблицы и графически.
- Проанализировать поле нормированного давления; найти коэффициент сопротивления λ для участка с установившимся параболическим профилем скорости при помощи формулы

$$\Delta p = \lambda \frac{\Delta L \rho v^2}{2H} \quad (1)$$

где Δp – перепад давления на участке канала длиной ΔL , $\rho = \text{const}$ – плотность жидкости, V – средняя по сечению скорость, за масштаб давления в рассматриваемой постановке задачи принимается величина ρV^2 , где V – модуль скорости на входе. Определить значение λ для участка развитого течения из угла наклона линейного участка зависимости. Провести сопоставление с теоретической оценкой для развитого участка $\lambda = 24/Re$; представить результаты в виде таблицы и графически.

- Построить график зависимости коэффициента трения на стенке канала, C_f , от координаты x . Одномерное распределение коэффициента трения следует экспортировать в формате Tecplot, вызвав визуализатор распределений физических величин по границам, четыре зоны в получающемся при экспорте данных plt-файле соответствуют четырем границам расчетной области, коэффициент трения экспортируется в Tecplot под названием «Skin Friction». Проанализировать распределение коэффициента трения и убедиться в том, что для участка развитого течения выполняется соотношение $\lambda = 2C_f$.

1.2. Реализация

Лабораторная работа выполнена с помощью встроенных средств Tecplot, Flos.

1.3. Результаты

1.3.1. Векторное поле скорости

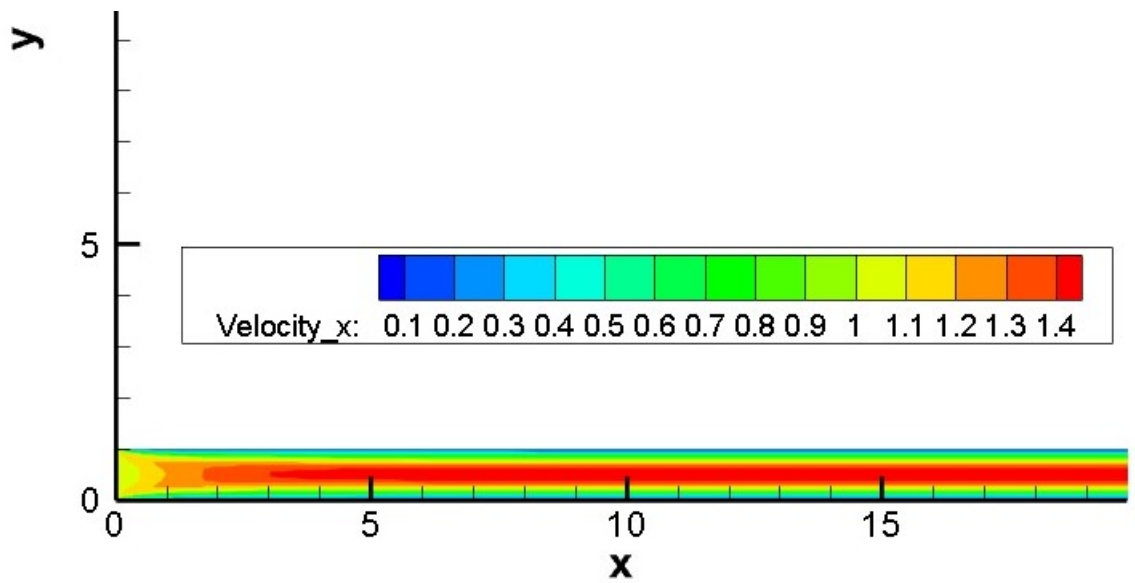


Рис. 1. Поле скалярной скорости, зависящей от x для $Re=435$

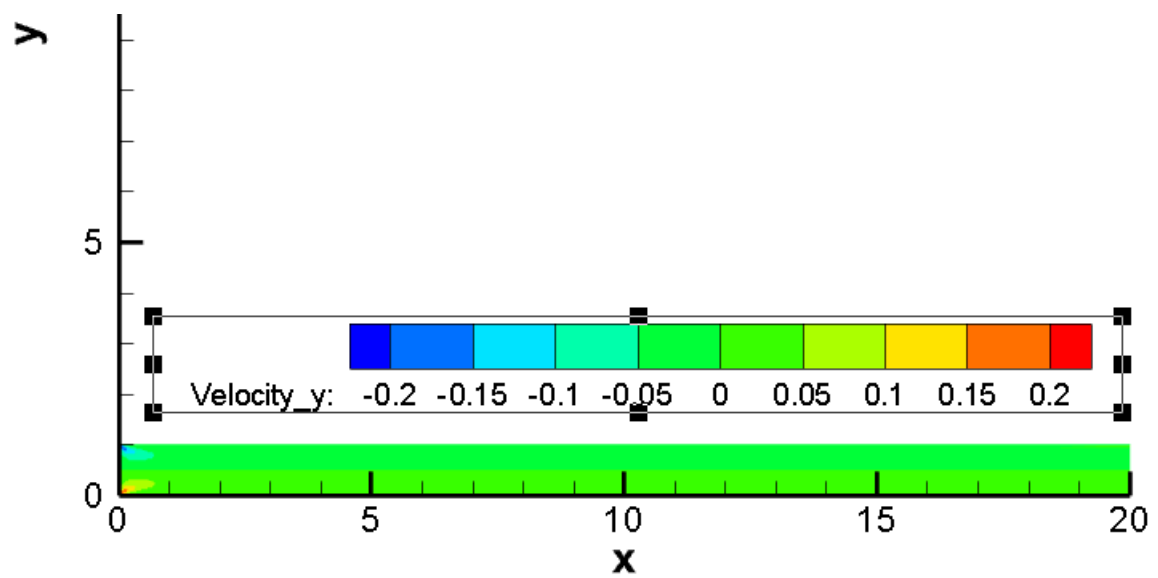


Рис. 2. Поле скалярной скорости, зависящей от y для $Re=435$

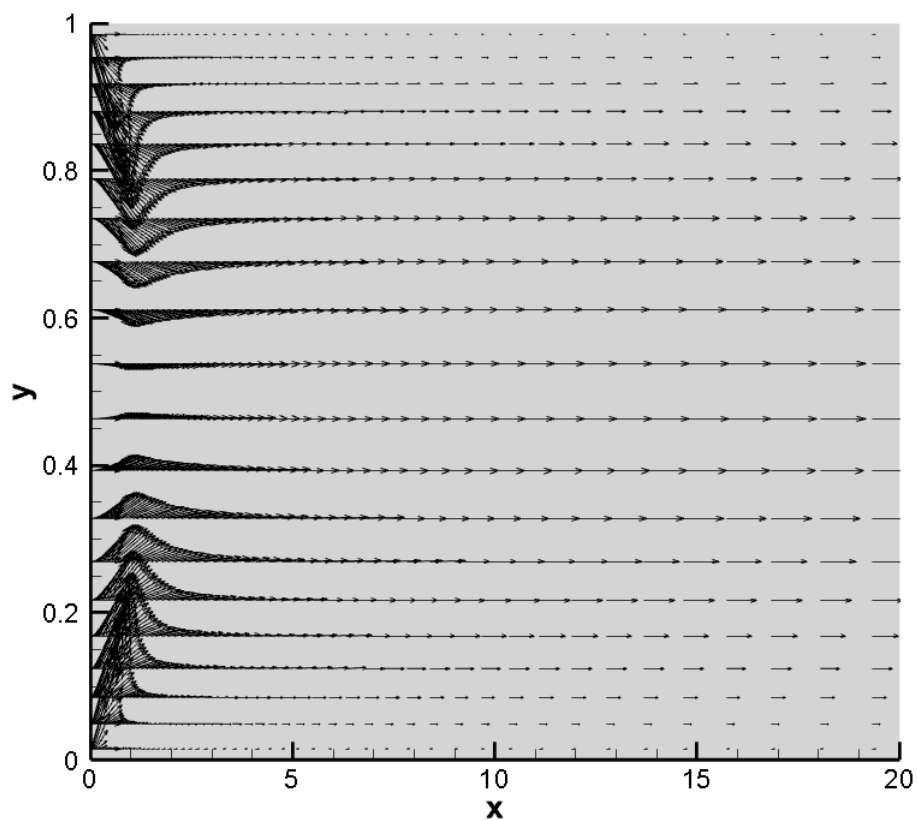


Рис. 3. Поле векторной скорости для $Re=435$

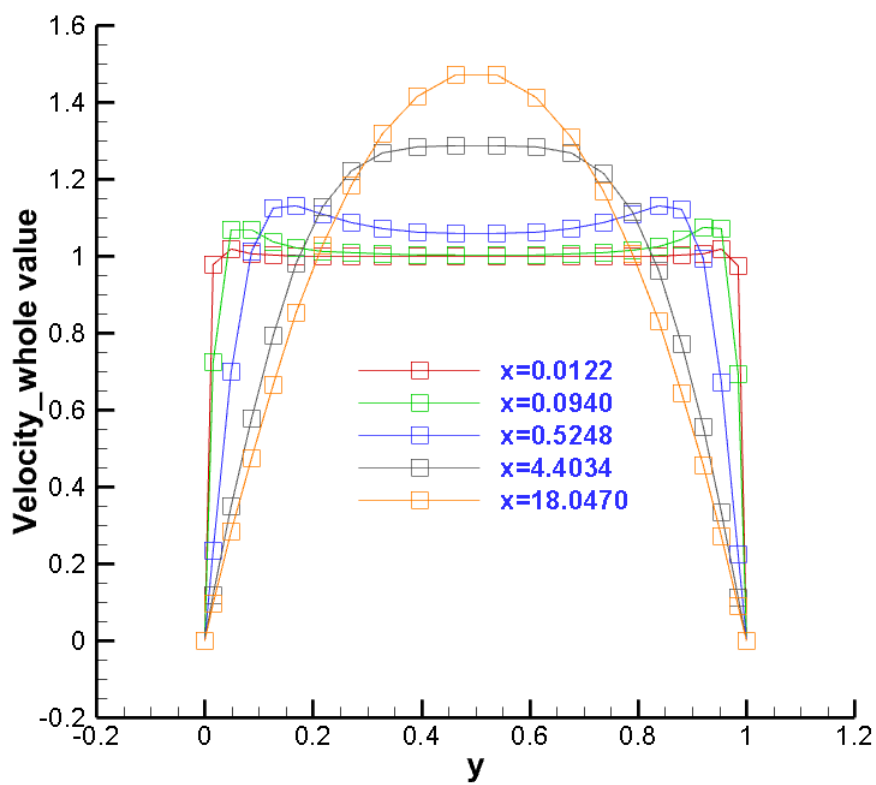


Рис. 4. Характеристики профиля скорости от x

1.3.2. Начальный участок канала

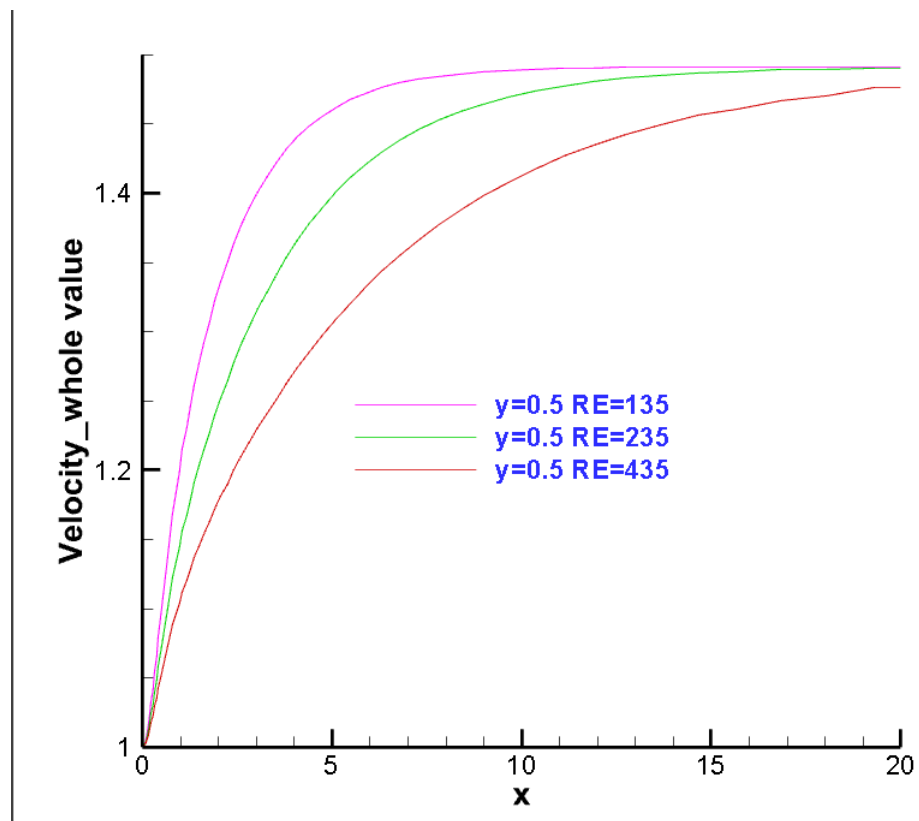


Рис. 5. Длина начального участка при $Re = 135, 235, 435$

Re	$L_{\text{нач}}$	$L_{\text{анал}}$	погр(%)
135	5.731	5.4	6.13
235	9.756	9.4	3.79
435	17.9	17.4	2.87

Таблица 1. Таблица начальных участков в сопоставлении с аналитическими

1.3.3. Поле нормированного давления

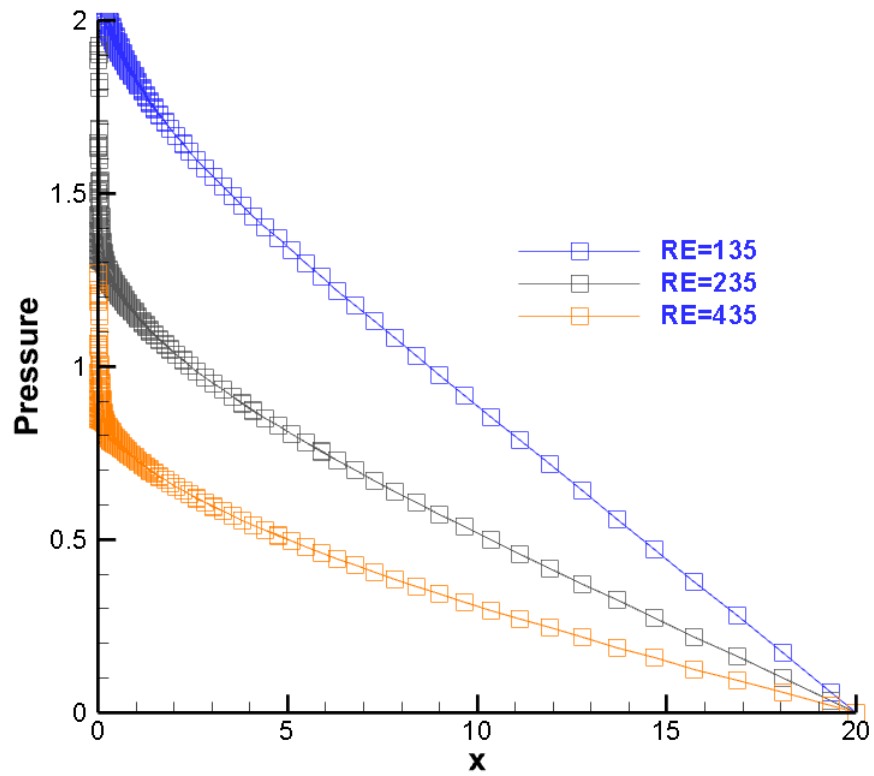


Рис. 6. Поле нормированного давления

Re	λ	$\lambda_{\text{анал}}$	погр(%)
135	0.17399	0.17778	2.131
235	0.09666	0.10213	5.356
435	0.06053	0.05517	8.855

Таблица 2. Таблица коэффициентов сопротивления в сопоставлении с аналитическими

1.3.4. Коэффициент трения

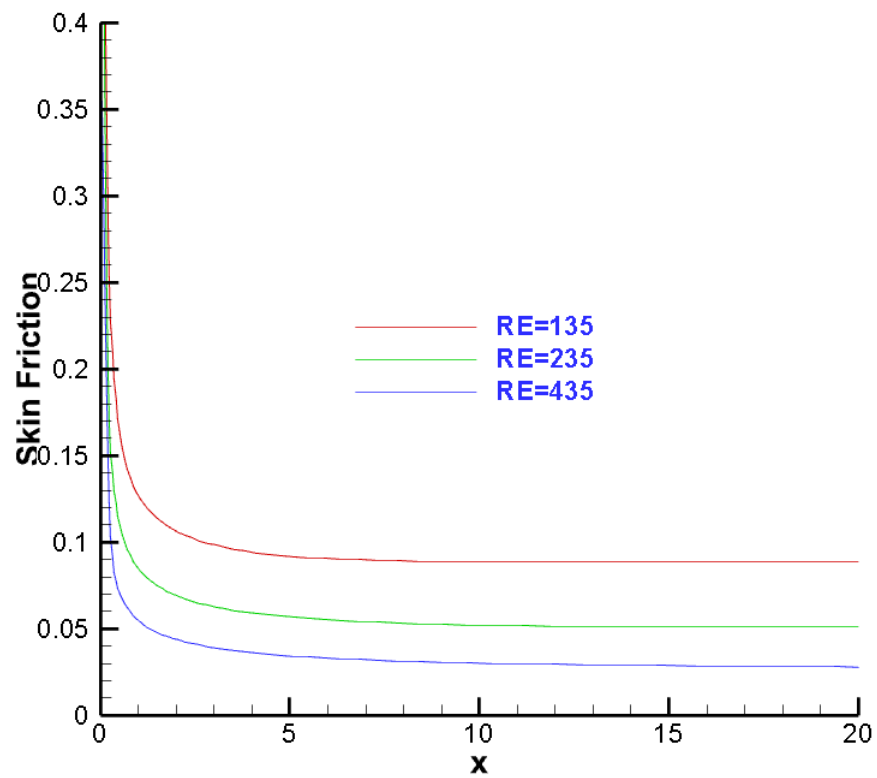


Рис. 7. Коэффициент трения

Re	C_f	$C_{f_анал}$	погр(%)
135	0.08866	0.08889	0.25829
235	0.05192	0.05107	1.66438
435	0.02993	0.02759	8.48133

Таблица 3. Таблица коэффициентов трения в сопоставлении с аналитическими

1.4. Выводы

В данной работе было рассмотрено стационарное ламинарное течение несжимаемой жидкости в двумерном канале при разных числах Рейнольдса.

Исходя из графиков и таблиц разных характеристик можно сделать выводы, что

- 1) В верхней и нижней стенах жидкость не течет, а в середине из входа жидкость ускоряется(1). После первой четверти канала она достигает максимальную скорость и с этого момента времени жидкость остается устойчивой и стабильной. По вертикали(2), кроме углов входа, жидкость не течёт по поперечной составляющей вектора скорости. Ту же картину наблюдаем, рассмотрев график поля векторной скорости (3).
- 2) Выше было сказано, что примерно в четверти дистанции($0.25l$, где $l=20$) жидкость остается устойчивой и стабильной. Поэтому красная кривая и зеленая кривая не сильно отличаются друг от друга(4). Еще можно наблюдать так называемую «м-образность» профиля скорости, при которой скорость потока у стенок больше скорости потока в середине канала. Это объясняется стремлением жидкости сохранить объемный расход в канале (площадь под кривой при $x=0.0940$ равна площади под кривой при $x=0.0122$).
- 3) Чем больше число Рейнольдса, тем больше длина начального участка канала.
- 4) Из таблицы (2) видно, что число Рейнольдса влияет на трение. Чем больше число Рейнольдса, тем меньше сопротивление.
- 5) Из графика видно, что в начале коэффициент трения гораздо больше. Это объясняется тензором градиента скорости, как меняется направление скорости и соответственно возникают касательные напряжения, так и показано в (3). Еще видно, что число Рейнольдса влияет на трение. Чем больше число Рейнольдса, тем меньше трение. Если сравниваем таблицу (2) и таблицу (3), то убедимся в том, что для участка развитого течения выполняется соотношение $\lambda = 2C_f$.

Проанализировав, сделаем вывод о числе Рейнольдса: чем оно больше, тем больше погрешность. Это связано с турбулизацией течения.

2. Лабораторная работа №2

2.1. Постановка задачи

- Проанализировать эволюцию во времени продольной и поперечной компонент вектора скорости и давления в точках мониторинга.
- Для участка статистически установившегося режима течения на протяжении характерного периода T осуществить вывод полей физических величин в четыре момента времени $(t_0, t_0 + T/4, t_0 + T/2, t_0 + 3T/4)$. Сопоставить распределения векторов скорости, модуля скорости и давления для выбранных моментов времени.
- Сопоставить рассчитанное для статистически установившегося режима течения значение числа Струхала $Sh = L/TV$, с экспериментальным значением.

2.2. Методические указания

2.2.1. Схема

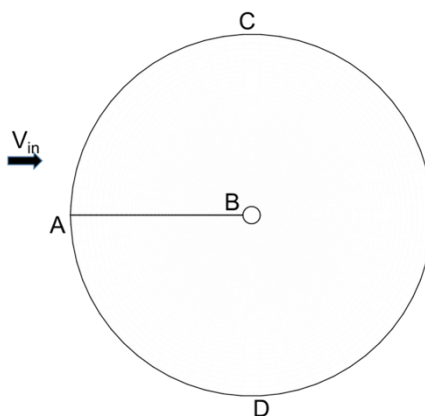


Рис. 8. Расчетная область O-топологии для расчета нестационарного обтекания цилиндра

Внутренняя окружность представляет собой поверхность обтекаемого цилиндра диаметром d , внешняя окружность – граница расчетной области диаметром $10d$.

2.2.2. Начальные и граничные условия

На входе (дуги AC и AD) задается равномерный профиль скорости $v_x = 1$. На границе CD задается постоянное нормированное давление $P = 0$. Контур цилиндра – твердая стенка. AB – линия стыковки. (значения на границах, отмеченных как 1 и 3, должны совпадать.)

2.2.3. Сетка

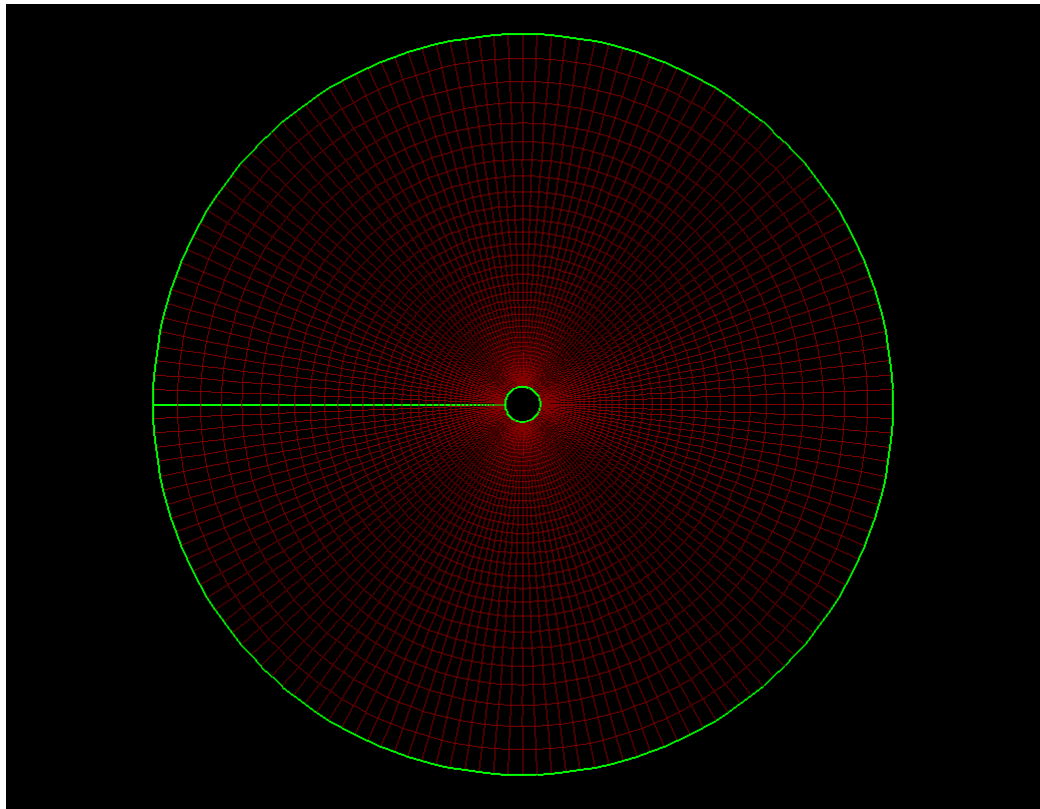


Рис. 9. Расчетная сетка для расчета нестационарного обтекания цилиндра

2.2.4. Решение

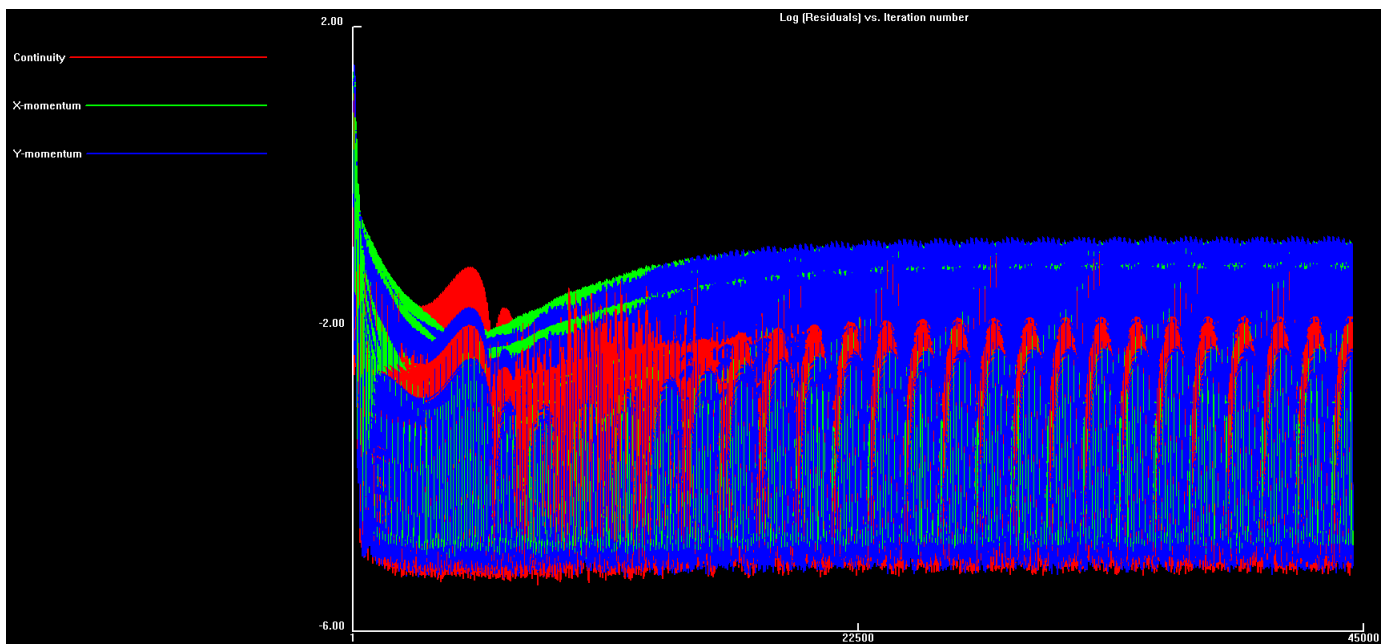


Рис. 10. Эволюция во времени продольной и поперечной компонент вектора скорости и давления

На графике 10 показана зависимость невязки (расхождения) уравнений Навье-Стокса, уравнения неразрывности и уравнения энергии от числа итерации. Задача сразу решается как

нестационарная. Это сделано потому, что при исследуемом числе Рейнольдса ($Re=80$) не возникает достаточных возмущений для развития потока. Для внесения возмущений были добавлены следующие параметры:

$$U_{INIT} = 1$$

$$V_{INIT} = 0.1$$

Нестационарную задачу решаем до тех пор, пока не будет достигнут статистически установившийся режим течения.

2.3. Постпроцессинг

2.3.1. Эволюция вектора скорости и давления

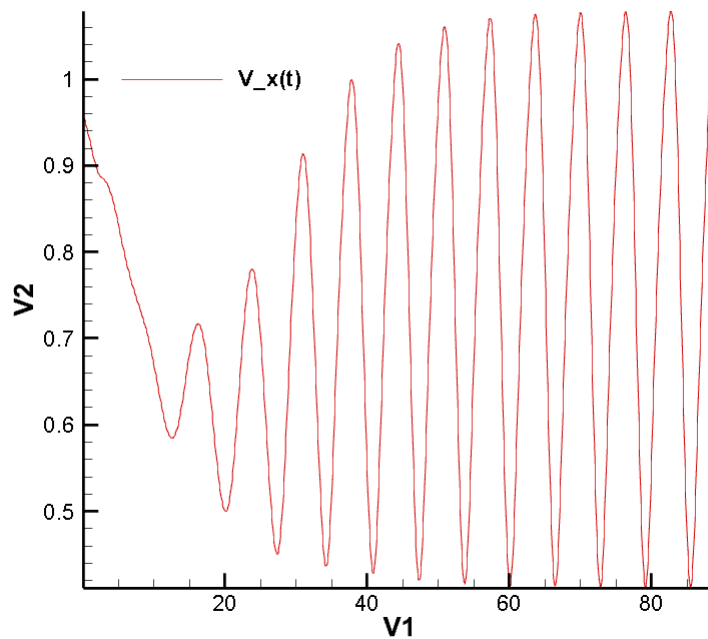


Рис. 11. Изменение во времени x-компоненты вектора скорости v_x

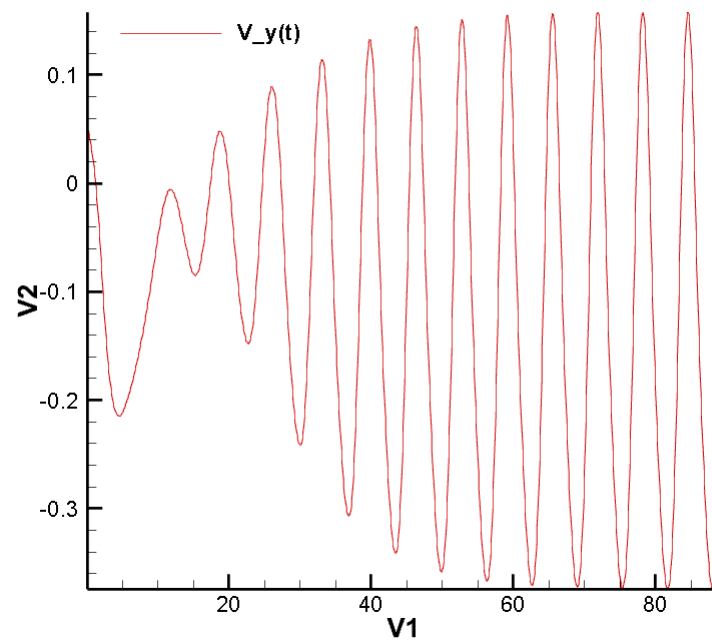


Рис. 12. Изменение во времени у-компоненты вектора скорости v_y

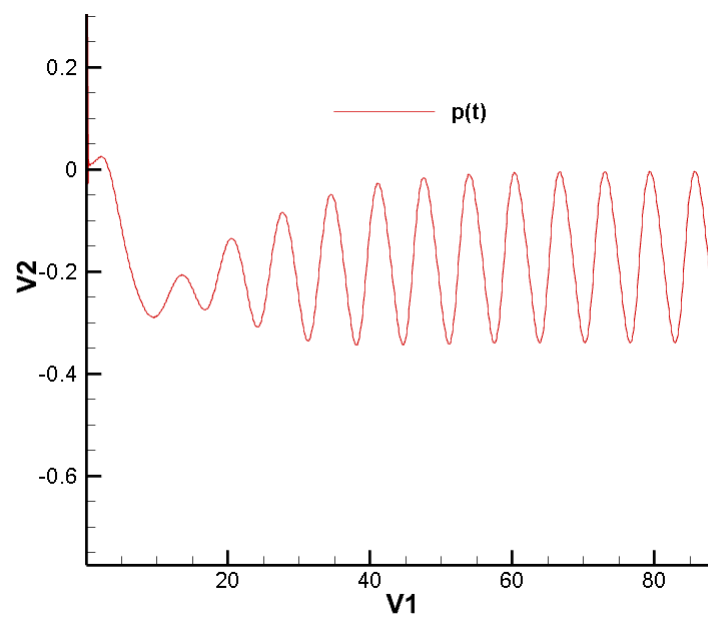


Рис. 13. Изменение во времени давления p

Из графиков следует, что достигнут статистически периодический установившийся режим.

2.3.2. Поля параметров в различные моменты времени

Первый момент времени

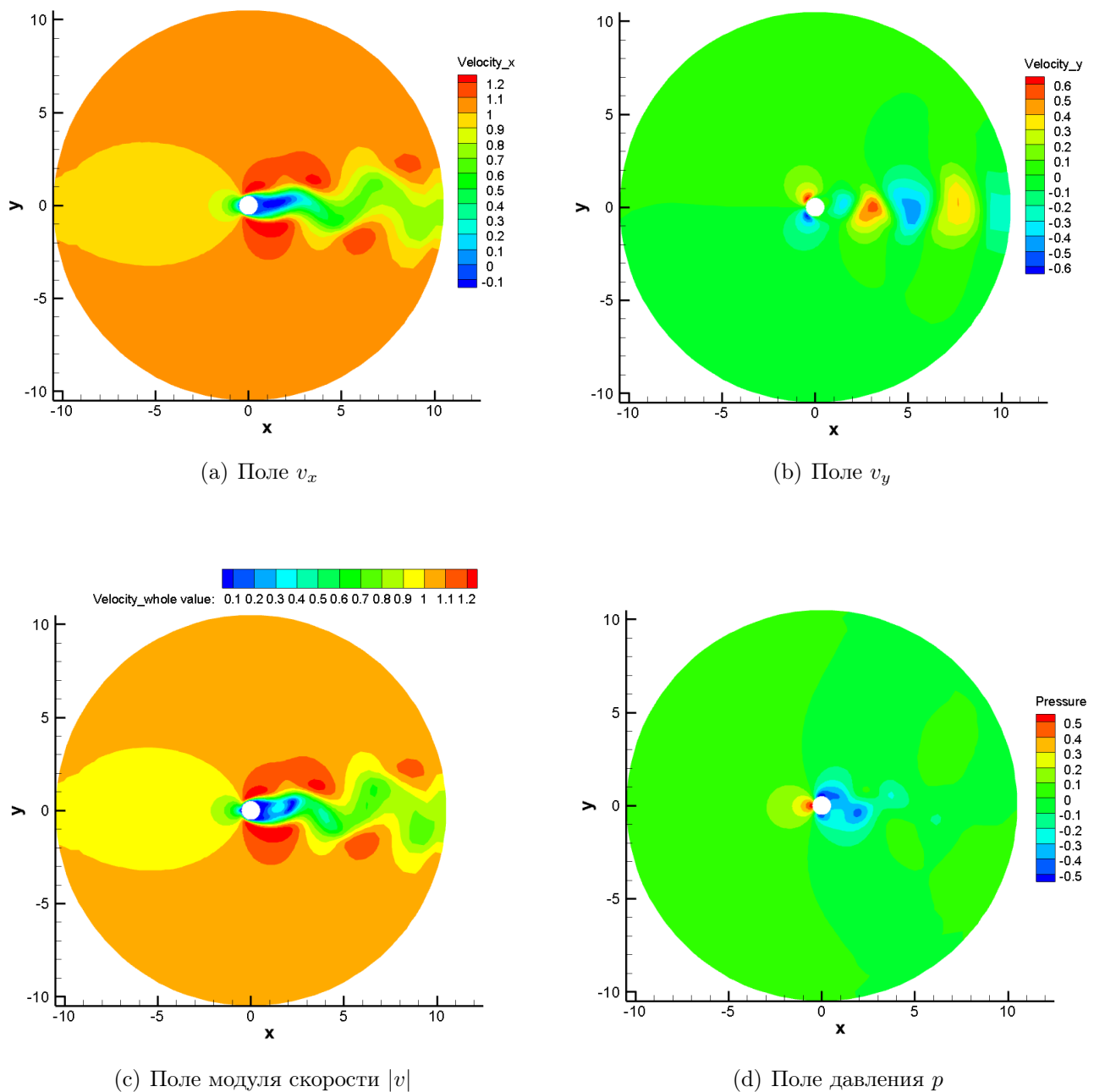
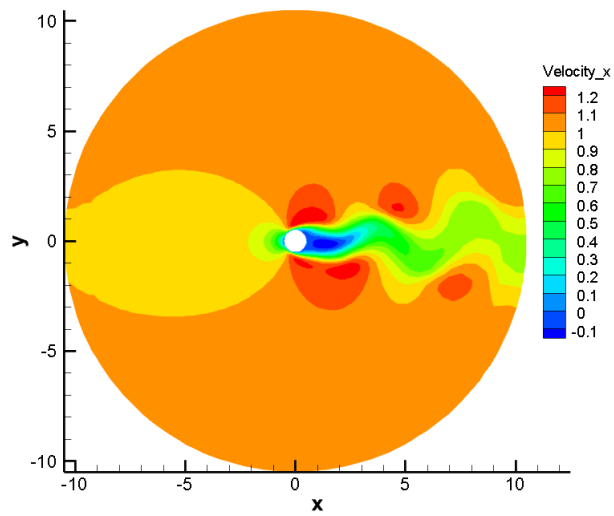


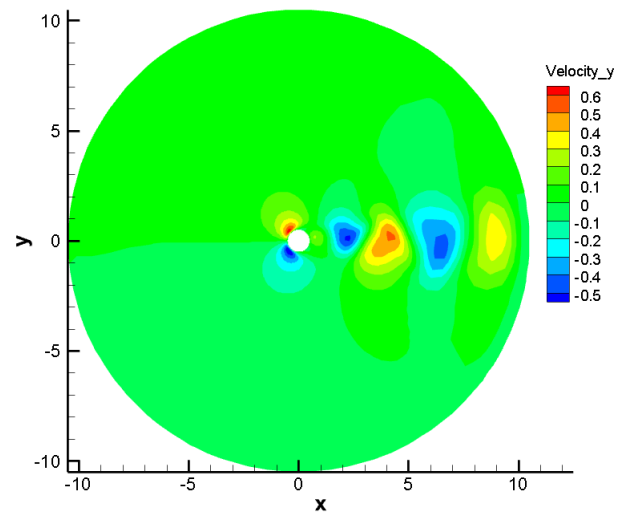
Рис. 14. Первый момент времени t_0

Из картин в первый момент времени следует, что перед цилиндром скорость уменьшается, а давление увеличивается. Также образующаяся за цилиндром дорожка по своему виду совпадает на всех графиках. За цилиндром образуются зоны низких скоростей, что также можно видеть из (14(a)). Соответственно на (14(d)) этим зонам соответствует зоны пониженного давления. В другие моменты времени получается схожая картина.

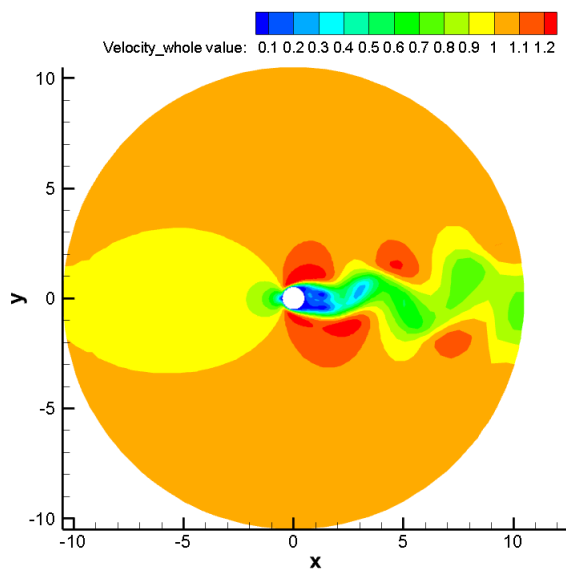
Второй момент времени



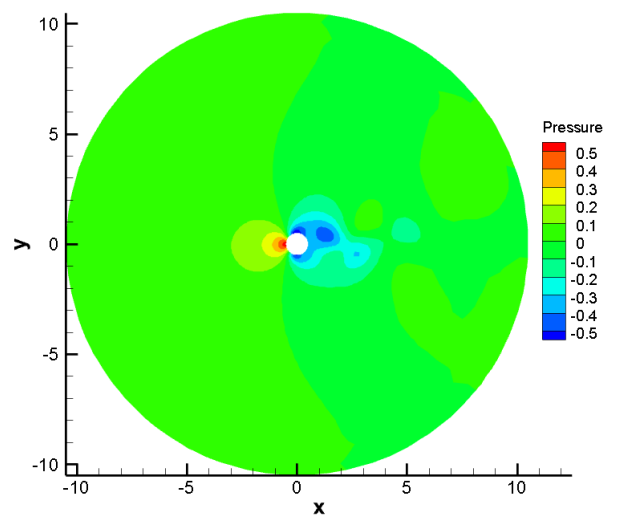
(a) Поле v_x



(b) Поле v_y



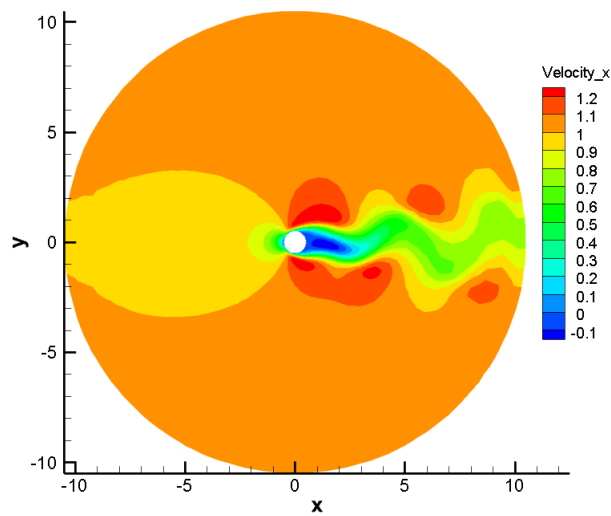
(c) Поле модуля скорости $|v|$



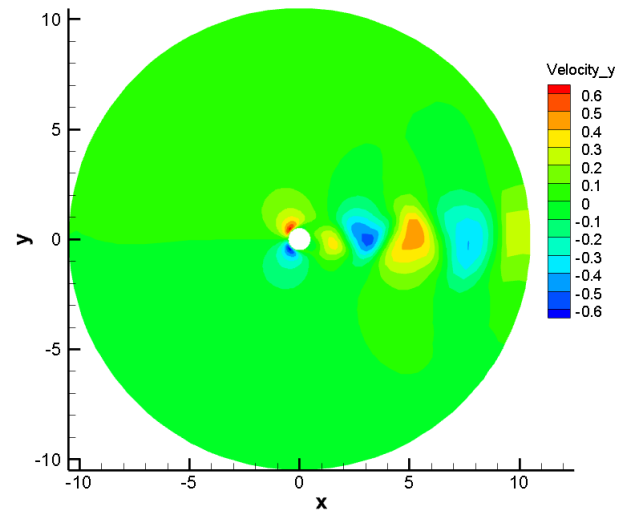
(d) Поле давления p

Рис. 15. Второй момент времени $t_0 + T/4$

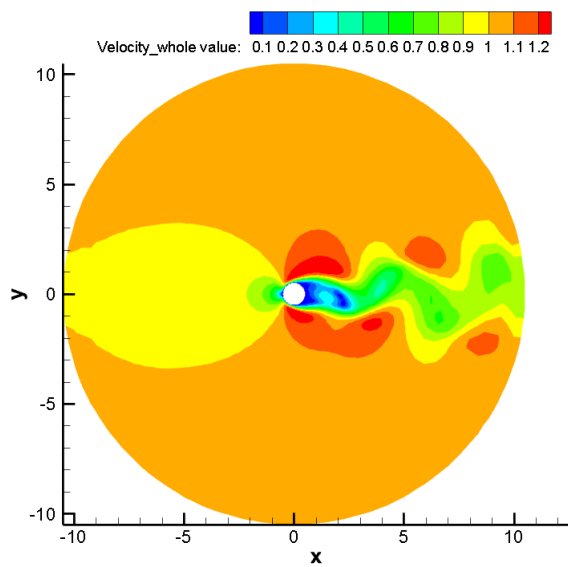
Третий момент времени



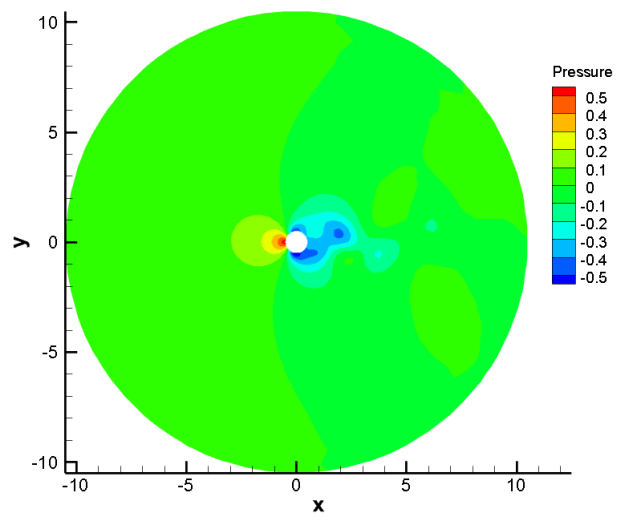
(a) Поле v_x



(b) Поле v_y



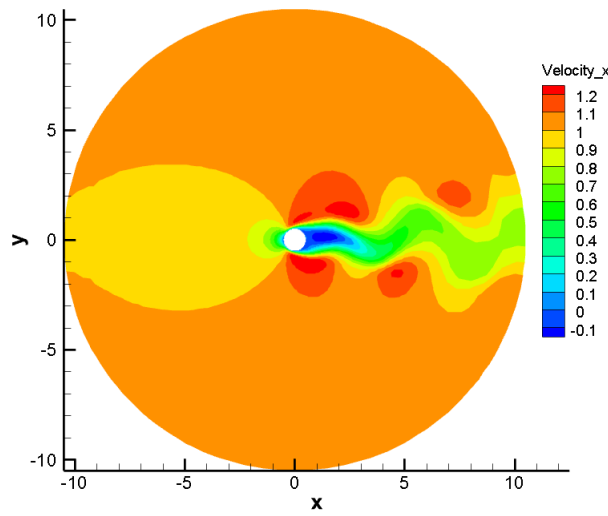
(c) Поле модуля скорости $|v|$



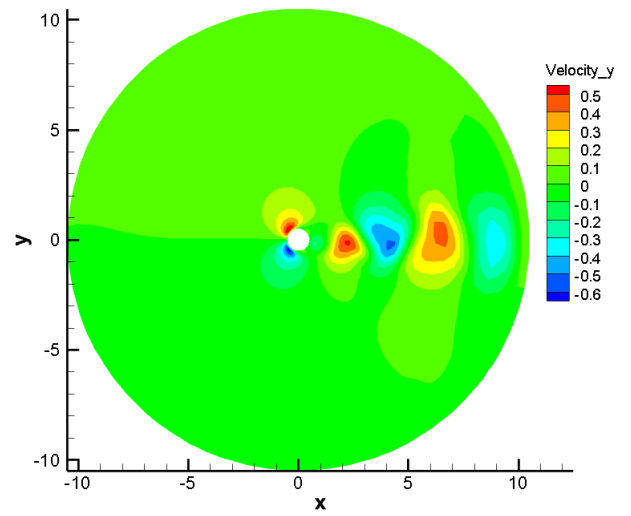
(d) Поле давления p

Рис. 16. Третий момент времени $t_0 + T/2$

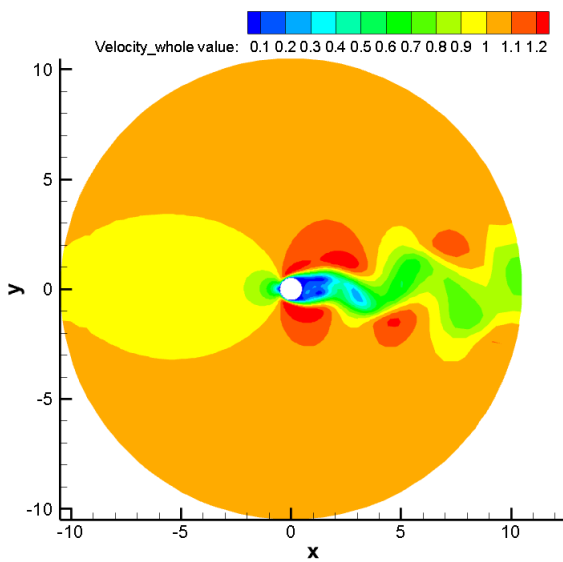
Четвертый момент времени



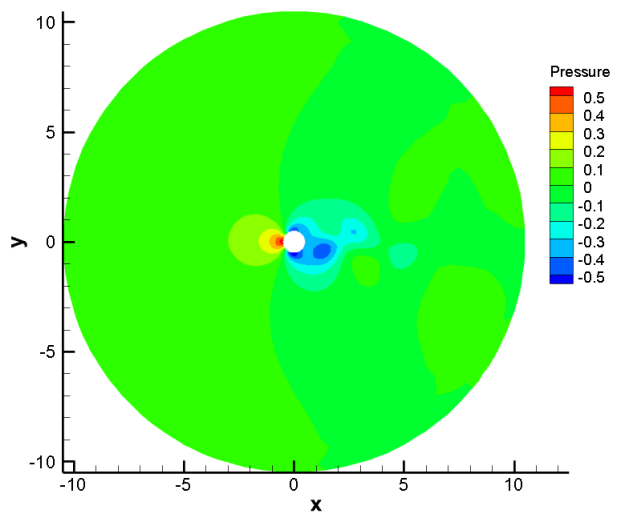
(a) Поле v_x



(b) Поле v_y



(c) Поле модуля скорости $|v|$



(d) Поле давления p

Рис. 17. Четвертый момент времени $t_0 + 3T/4$

2.3.3. Число Струхала

На рисунке (12) $t = [0, 55]$ – участок установления, $t > 55$ – установившееся течение. Установившееся течение является периодическим с периодом $T = 82.6 - 76.3 = 6.3$ (по графику).

$$Sh = \frac{L}{TV} = \frac{1}{T} = \frac{1}{6.3} = 0.1587 \quad (2)$$

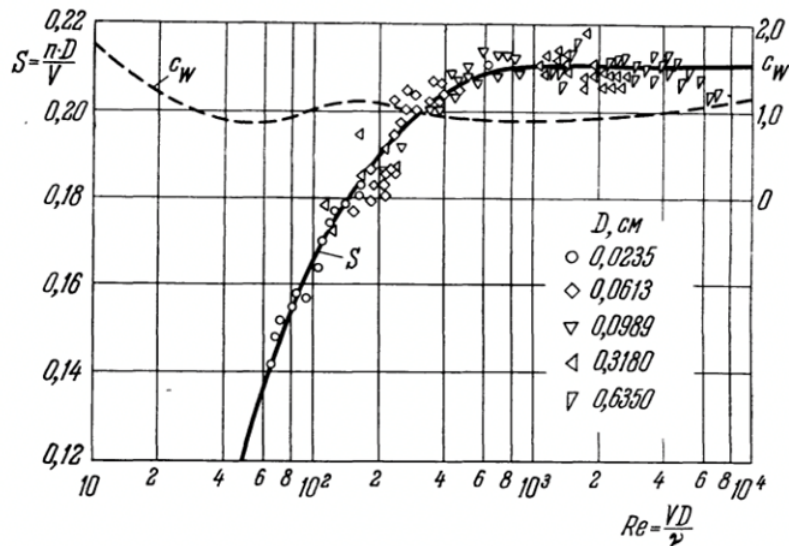


Рис. 2.9. Зависимость числа Струхала от числа Рейнольдса для течения около круглого цилиндра. По измерениям А. Рошно [18].

Рис. 18. Зависимость числа Струхала от числа Рейнольдса

Полученное число Струхала приблизительно равно числу, полученному в экспериментальных данных.