

Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет
Кафедра гидроаэродинамики

Отчёт по вычислительной лабораторной работе № 1

Дисциплина: Численные методы гидродинамики

Тема: Расчёт течения в начальном участке плоского канала

Выполнил студент гр. 5037/1 А. В. Игнатьев

Принял преподаватель, асс. Н. Г. Иванов

«___» _____ 2009 г.

Задание

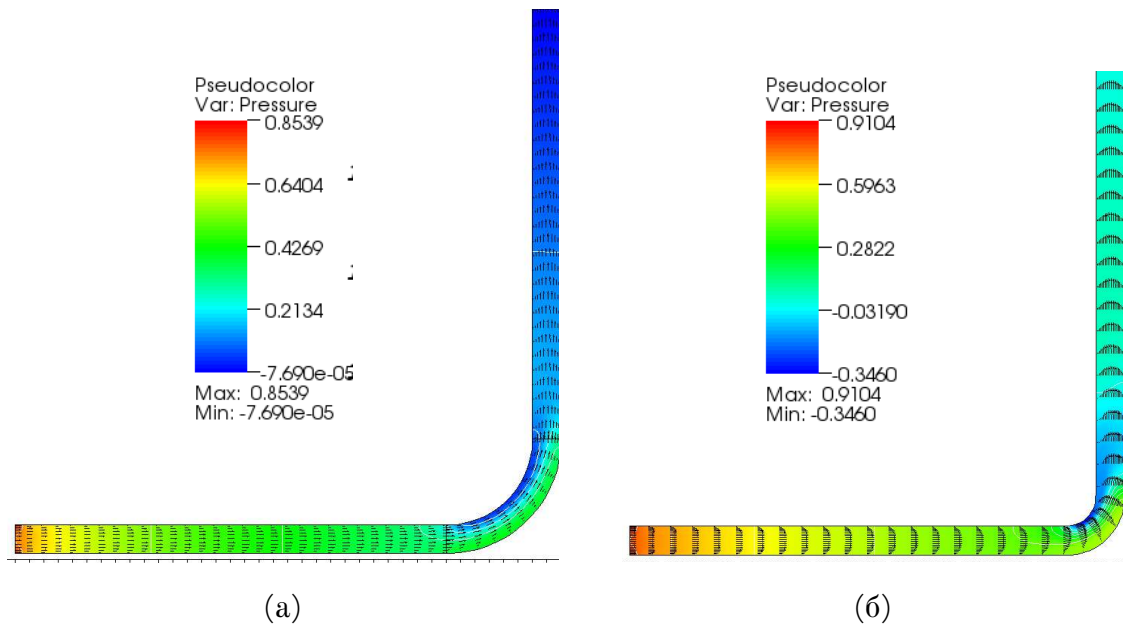
Выполнить расчёт стационарного ламинарного течения несжимаемой жидкости в плоском канале с поворотом на 90° для разных значений числа Рейнольдса и радиуса поворота; исследовать влияние поворота на поле течения и гидравлическое сопротивление.

Постановка вычислительной задачи

Расчётная область представляет собой плоский канал единичной ширины с поворотом среднего радиуса (а) 3,5 или (б) 1,5 калибра; до и после поворота располагается по 15 калибров прямого канала (рис. 1). На входной границе задана безразмерная скорость $V = 1$, на выходной – уровень безразмерного давления $P = 0$. Вид области показан на рис. 1; сетка принималась равномерной по длине (порядка 8 ячеек на калибр) и загущенной к краям (всего 20 ячеек по ширине). Задача решалась для чисел Рейнольдса $Re = 100, 400$ и 1000 ; для случая (а) возможно также построить картину течения для $Re = 1500$.

Анализ результатов

На начальных участках канала и на достаточно большом расстоянии за поворотом форма течения не имеет значительных отличий от течения в прямом канале. Однако в области поворота силы инерции препятствуют изменению направления движения, вследствие чего распределение давлений и скоростей сильно искажается. У внутренней стенки давление падает (иногда до величины, меньшей, чем давление на конце канала); в зону



**Рис. 1. Расчётная область с полями давления
в двух вариантах (при $Re = 1000$)**

с низким давлением поступает жидкость, и скорость в проекции на ось канала там может становиться отрицательной (отрыв потока, зона отрыва на рис. 2 отмечена красным). У внешней стенки давление, наоборот, растёт, и жидкость оттуда вытесняется (так что при $r = 1,5$, $Re \geq 1000$ образуется вторая отрывная зона); таким образом, градиент давления в повороте направлен практически по радиусу. При этом максимум скорости в зоне нормального тока смещён вовнутрь поворота и скорости потока в части сечения, не занятой вихрями, возрастают. Компонента скорости вдоль потока вблизи поворота показана на рис. 2 и для четырёх сечений ($Re=1000$) проиллюстрирована на графиках на рис. 3. Поскольку при $Re \geq 1000$ начальный прямой участок короче участка неустановившегося течения, профиль скоростей в центре сечения уплощён (причём его форма сохраняется даже за поворотом), и абсолютный максимум скорости снижается. Поперечная компонента скорости отклоняется от нуля, главным образом, на входе и выходе участка поворота, растёт по модулю при снижении радиуса и росте Re и при $r = 1,5$, $Re = 1000$ достигает величины 0,361.

Чем больше Re и чем меньше радиус закругления, тем сильнее выражены искажения; для $Re = 1500$ при варианте (б) не удалось произвести численный расчёт в предположении о ламинарном характере течения (ширина сечения с прямым током за поворотом мала, и характер потока там соответствует большим числам Рейнольдса, свойственным турбулентному режиму).

Перепад давления на участке прямого канала с установившимся течением можно найти по формуле (см. лаб. 1)

$$\Delta p_{\text{прям}} = \lambda \frac{\Delta L}{H} \cdot \frac{\rho V_{\text{ср}}^2}{2}, \quad (1)$$

где $\Delta p_{\text{прям}}$, ΔL – падение давления (среднего по сечению) и длина участка; H – ширина канала; ρ – плотность жидкости; $V_{\text{ср}}$ – средняя по сечению скорость; λ – коэффициент

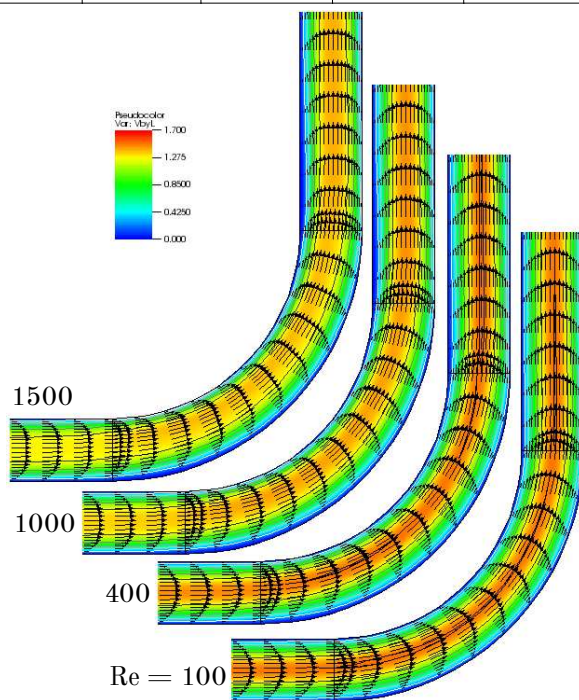
сопротивления, согласно теории, $\lambda = 24/\text{Re}$. Если применить эту формулу к криволинейному участку канала (подставив длину по оси), то реальный перепад давления будет больше полученного результата на некоторую величину. Влияние поворота на перепад давления принято характеризовать коэффициентом местного сопротивления

$$\xi = (\Delta p - \Delta p_{\text{прям}}) / \frac{\rho V_{\text{ср}}^2}{2}.$$

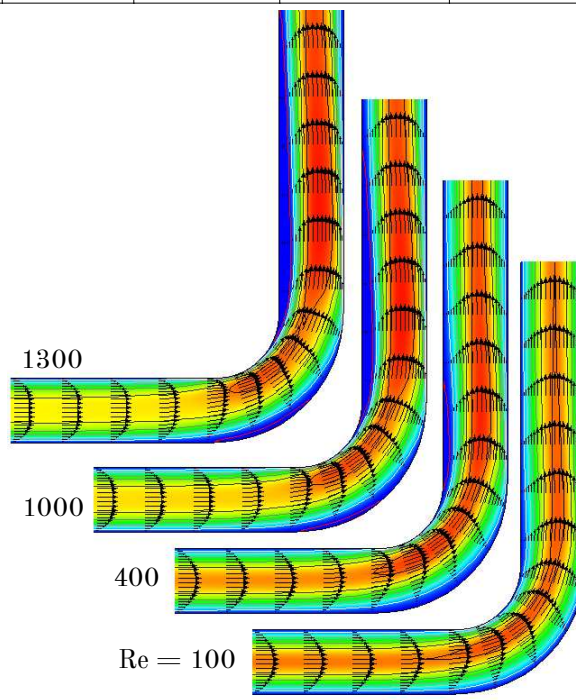
Результаты анализа представлены в таблице. Построены графики нормированного давления у поворота (рис. 4) и полученные зависимости для величины ξ и длины отрывной зоны (рис. 4).

Т а б л и ц а . Результаты анализа

Число Рейнольдса Re	Радиус поворота $R_{\text{кр}}$	Среднее давление		Длина зоны отрыва $L_{\text{отр}}$	Максимум скорости V_{max}	Падение давления вблизи поворота		Коэффициент местного сопротивления ξ
		перед поворотом	за поворотом			полное Δp	прям. уч. по (1) $\Delta p_{\text{прям}}$	
100	1,5	2,082	1,723	—	1,573	0,713	0,763	-0,1
	3,5	2,428	1,765	—	1,511	1,134	1,140	-0,01
400	1,5	0,558	0,344	—	1,642	0,378	0,191	0,38
	3,5	0,626	0,431	1,68	1,518	0,322	0,285	0,07
1000	1,5	0,303	0,072	—	1,667	0,341	0,076	0,53
	3,5	0,300	0,183	4,26	1,474	0,189	0,114	0,15
1500	3,5	0,229	0,130	—	1,436	0,161	0,076	0,17



(a)



(б)

Рис. 2. Продольная компонента скорости

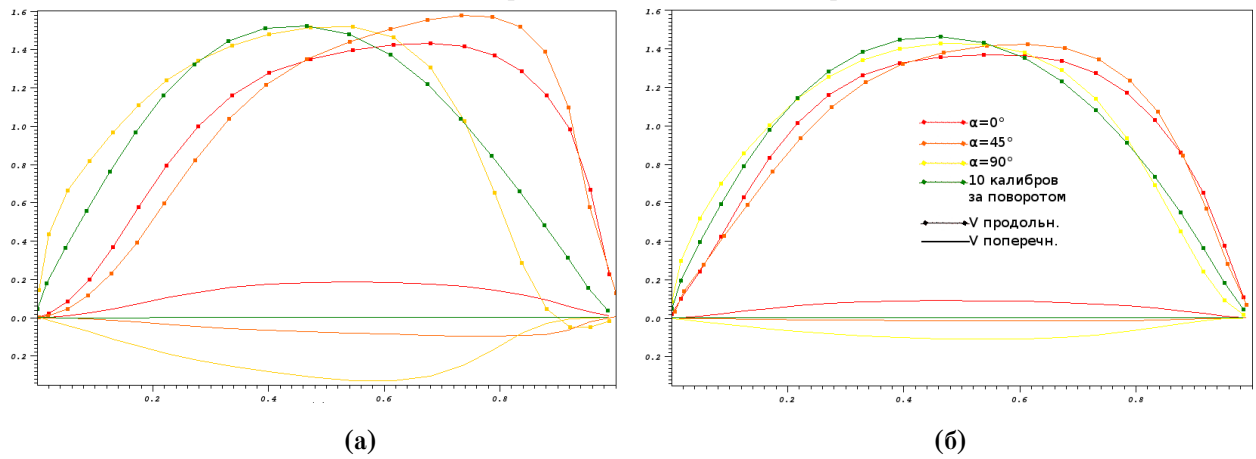


Рис. 3. Компоненты скорости в различных сечениях ($Re = 1000$)

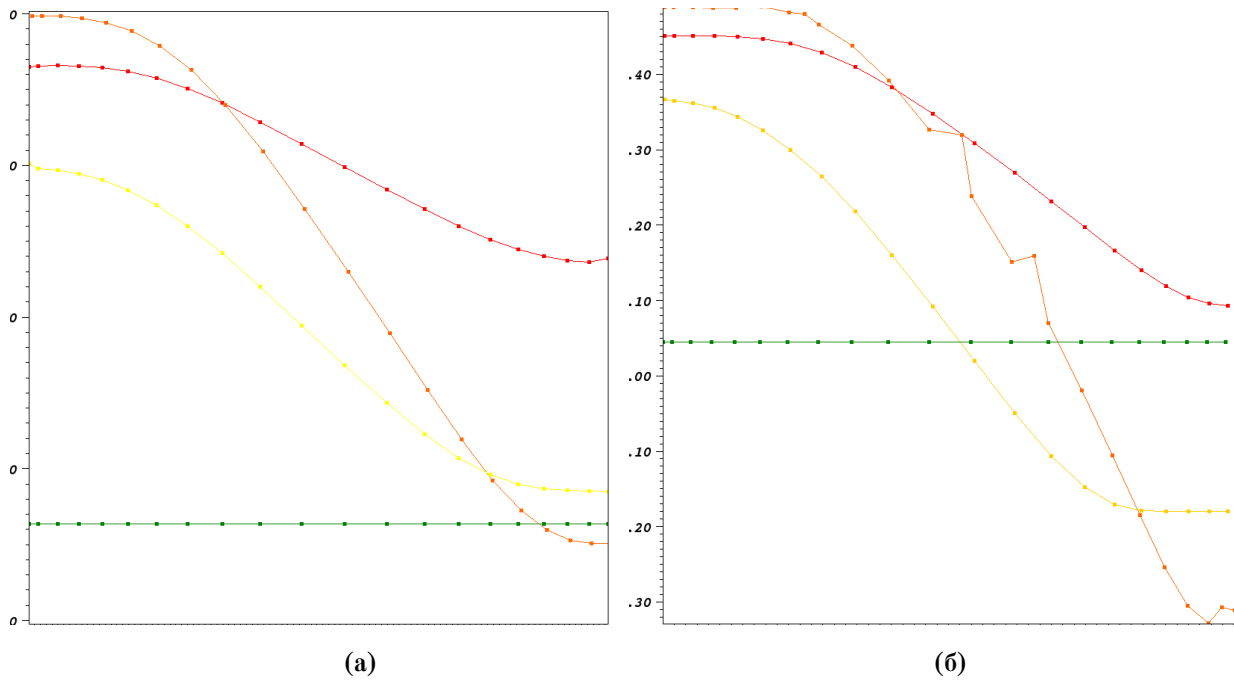


Рис. 4. Графики давления в различных сечениях ($Re = 1000$)
обозначения по рис. 3

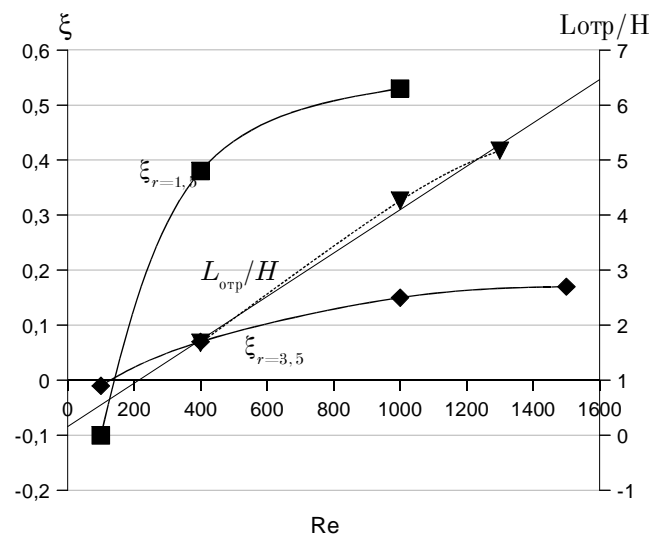


Рис. 5. Зависимости коэффициента местного сопротивления ξ и длины отрывной зоны $L_{отр}$

Выводы

В ходе работы было исследовано ламинарное течение в плоском канале с поворотом на 90° . Выяснилось, что даже при относительно небольших числах Рейнольдса в каналах с резким изменением направления ламинарное течение может переходить в турбулентное (даже при $Re=1000$ при $r=1,5H$ на графике давления в середине поворота присутствуют изломы, говорящие о ненадёжном моделировании). Получены зависимости для коэффициентов местного сопротивления поворота; видим, что они имеют сложный характер, при малых Re перепад давления при повороте может быть меньше, чем на прямом участке. В общем в ламинарной области коэффициент сопротивления плавного поворота возрастает при снижении радиуса и росте Re , особенно для случаев образования вихрей. Для радиуса $r=1,5H$ в работе были получены отрывные режимы течения; длину зоны отрыва можно, согласно графику на рис. 5, аппроксимировать прямой

$$L|_{r=1,5H}=0,0004(Re-200) .$$