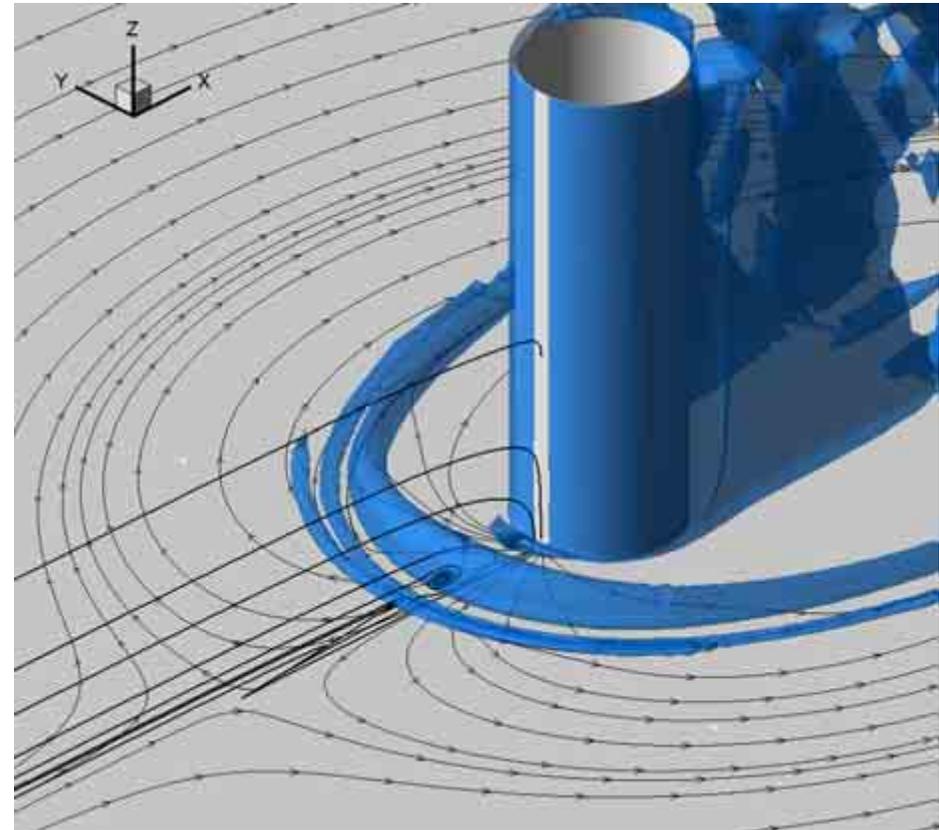


Численное моделирование трехмерного потока, обтекающего круговой цилиндр в области его сочленения с гладкой стенкой

Левченя А.М., Смирнов Е.М.



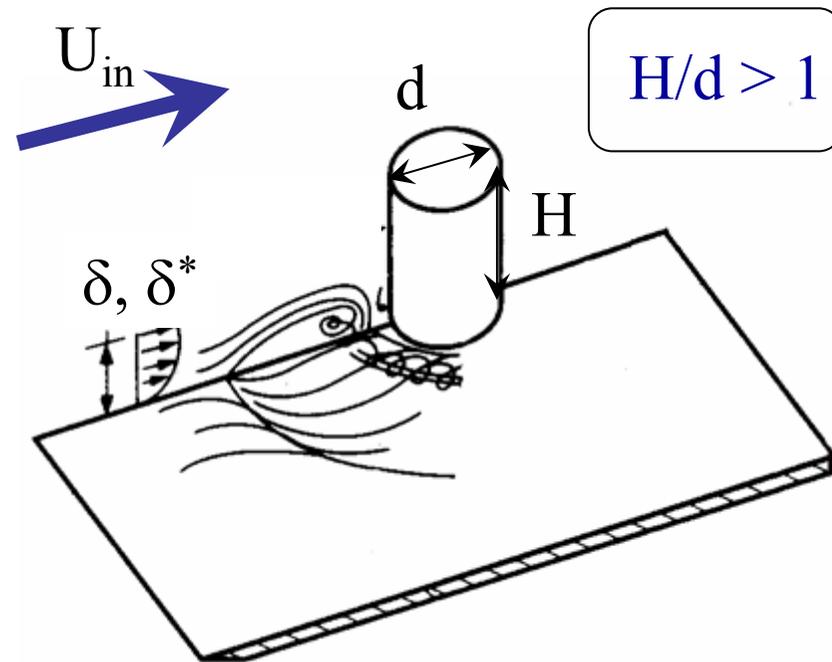
Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет
Кафедра гидроаэродинамики
E-mail: aero@phmf.spbstu.ru



СОДЕРЖАНИЕ

- *Введение. Мотивация*
- *Постановка задачи*
- *Вычислительные средства*
- *Граничные условия и расчетные сетки*
- *Результаты и обсуждение*
- *Выводы*

Трехмерное ламинарное течение в области сочленения кругового цилиндра с гладкой стенкой



$$Re = \frac{U_{in} d}{\nu}, \quad \frac{\delta^*}{d}$$

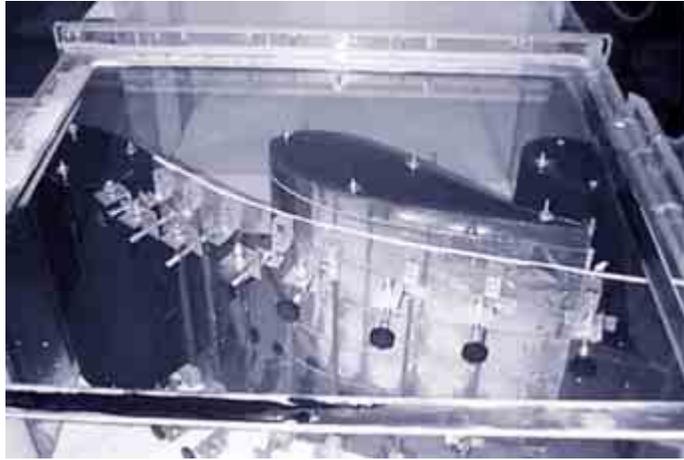
Определяющие параметры

Литературные данные

- Эксперименты:
Peake et al (1965), *Baker* (1979-1985),
- Расчеты:
Visbal (1989), *Chen et al* (1992)

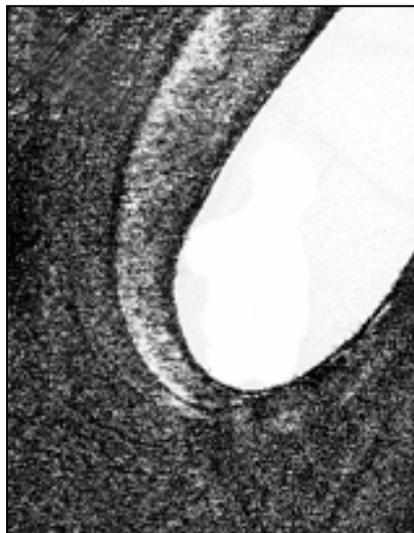
Вопросы

- Эффекты нестационарности
- Влияние качества сетки
- Влияние размеров расчетной области
- Условия смены
вида вихревой структуры

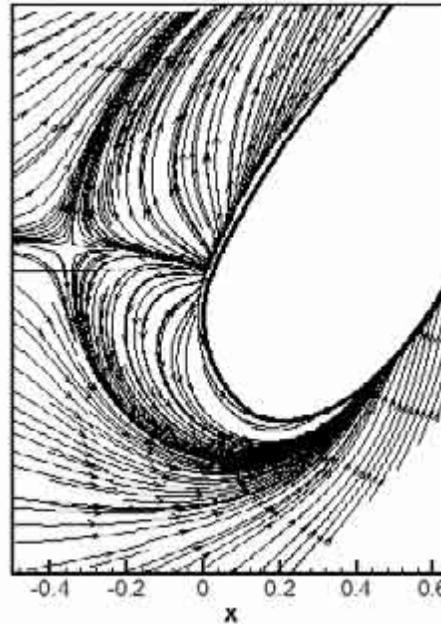


Опыт численного моделирования трехмерного турбулентного течения в решетках турбин

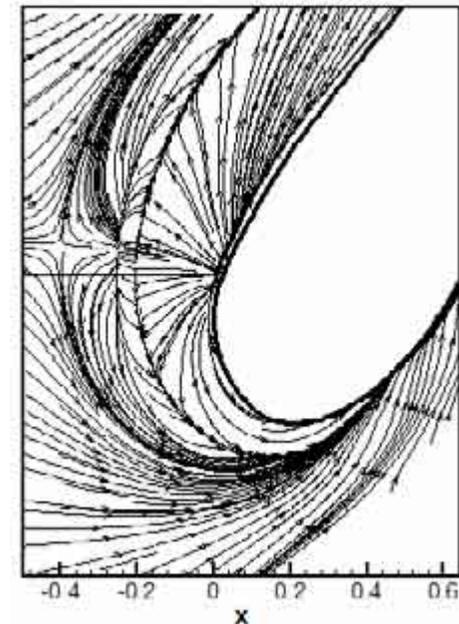
(Левченя, Рис, Смирнов, 2006, Труды РНКТ-4)



Experiment:
Kang *et al* (VPI), 1999



Модель $k-\omega$



Модель MSST

$$\text{Re}_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{in}} C}{v_{\text{scale}}^{\text{eff}}}$$

$$(\text{Re}_{\text{eff}})_{\text{MSST}} > (\text{Re}_{\text{eff}})_{k-\omega}$$

Программный комплекс SINF

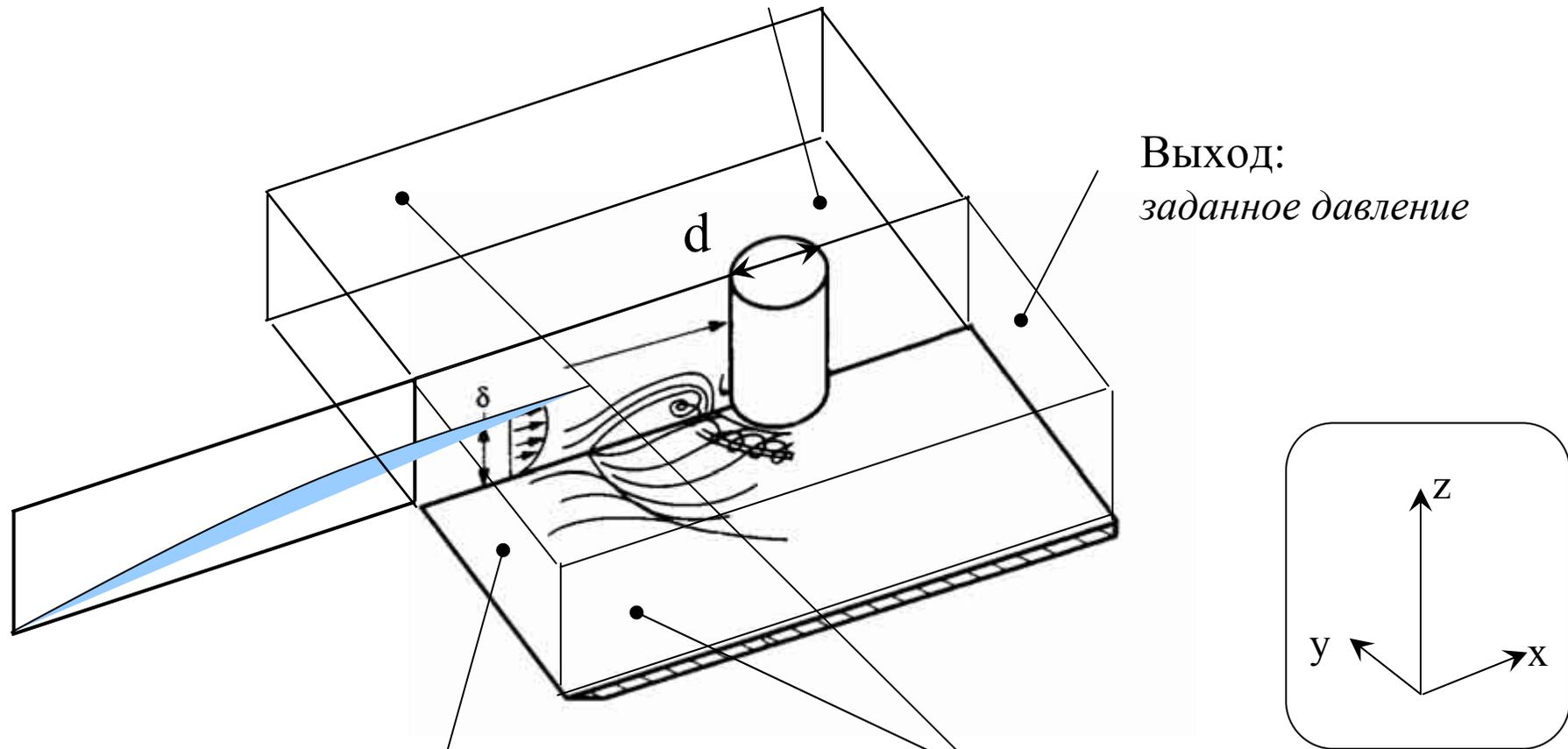
(Supersonic-to-INcompressible Flows; 3D Navier-Stokes solver)

- стационарные и нестационарные потоки жидкости и газа
- абсолютная и вращающаяся системы отсчета
- скользящие сетки; опции взаимодействия статор-ротор
- деформируемые сетки; опция аэроупругости
- сопряженный тепло- и массообмен
- современные модели турбулентности RANS (k, vt-SA, k-ε, k-ω, MSST, v²-f); опции LES и RANS/LES (DES)

- блочно-структурированные сетки; опции стыковки блоков
- пространственная дискретизация 2^{го} порядка точности (метод конечного объема)
- значения переменных определены в центрах ячеек
- неявная схема 2^{го} порядка по физическому времени
- параллельные вычисления (Domain Decomposition; MPI)

Постановка задачи. Граничные условия

Условие симметрии относительно $Z=const=3d$

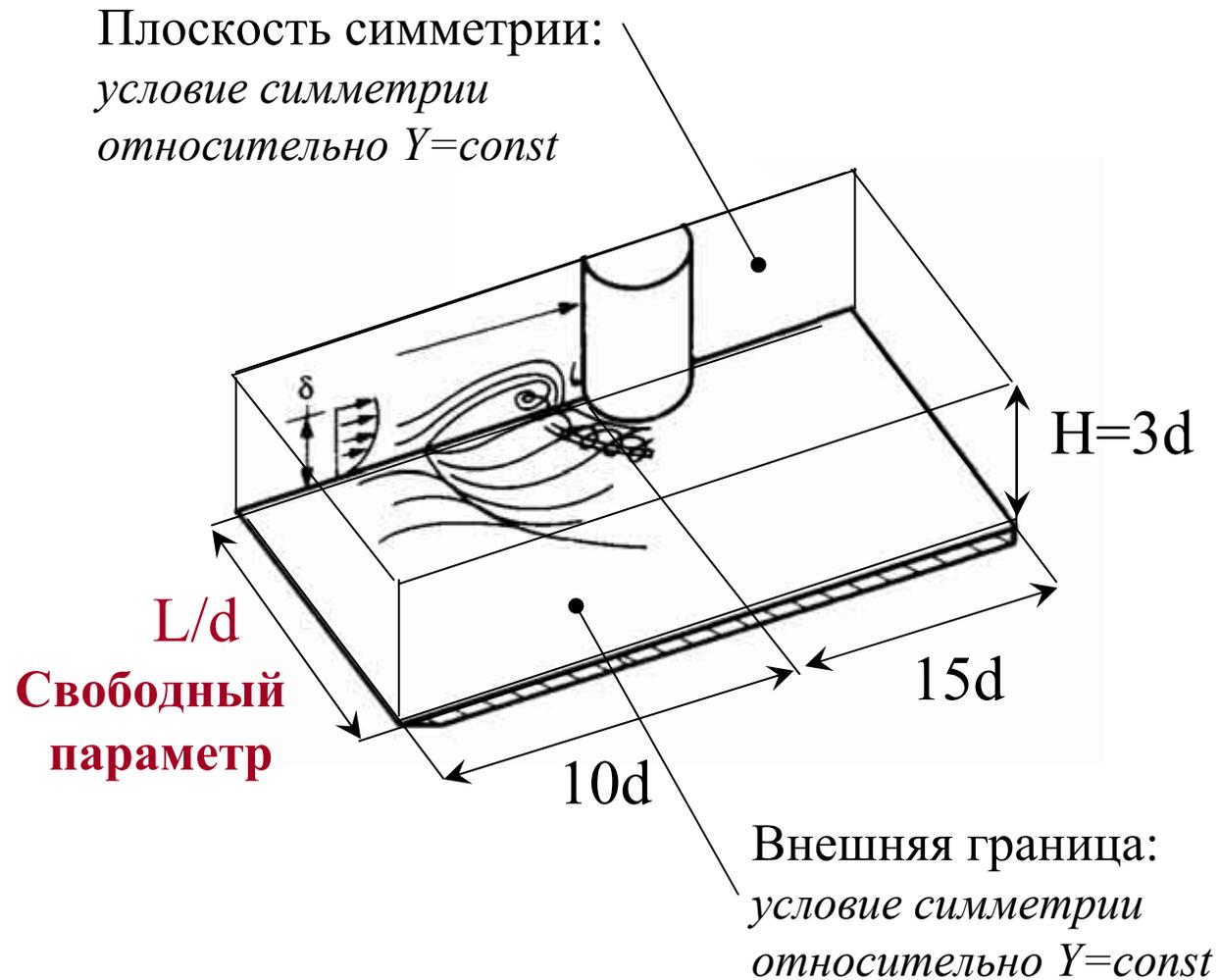


Выход:
заданное давление

Вход :
*профиль скорости из
расчета пограничного слоя*

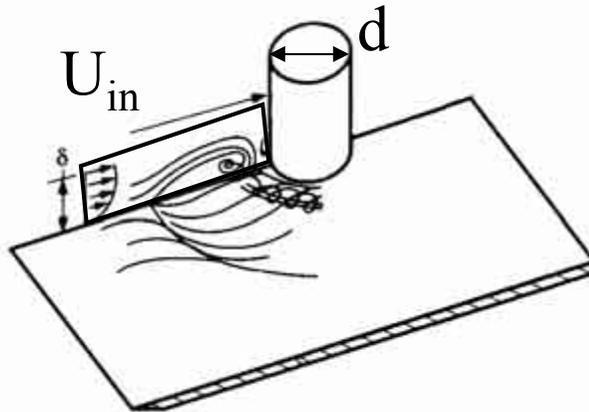
Внешние границы:
*условие симметрии относительно
плоскости $Y=const$*

Постановка с наложением условия симметрии относительно плоскости, проходящей через ось цилиндра

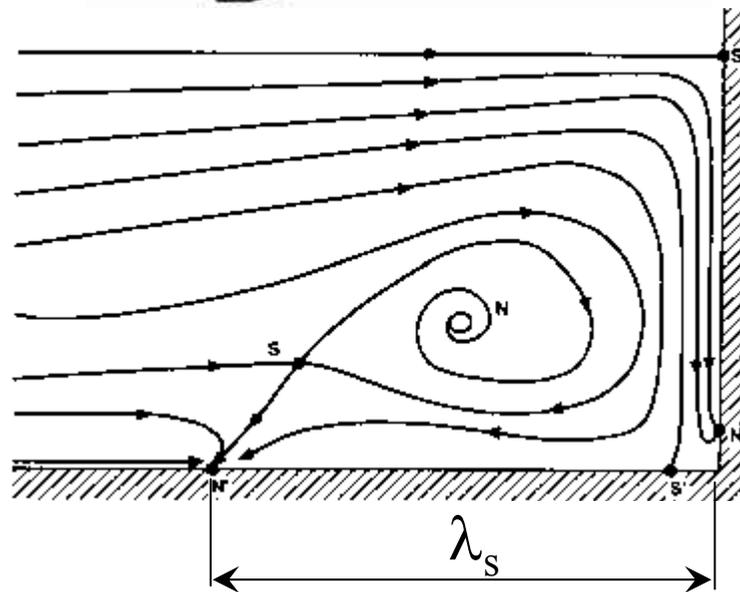


Топология вихревых структур

Схемы из работы [Chen & Hung, 1992, AIAA Journal]

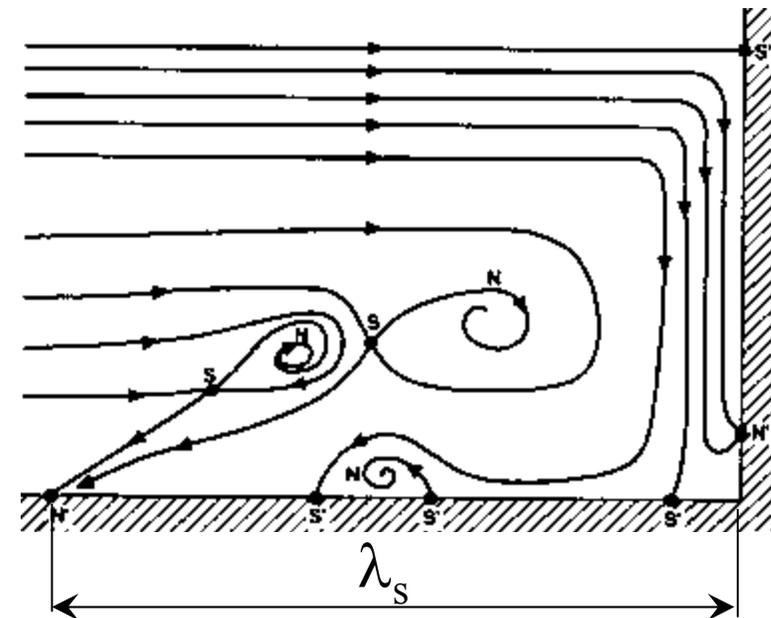


*Линии тока в плоскости симметрии,
параллельной оси цилиндра*



Re = 500

Один подковообразный вихрь

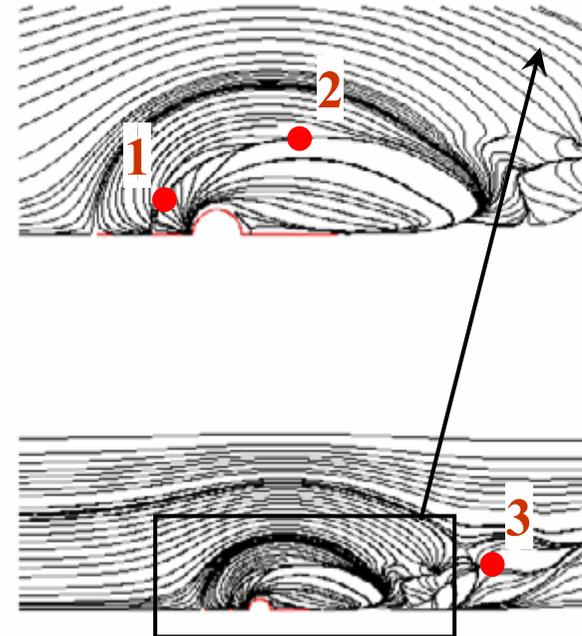
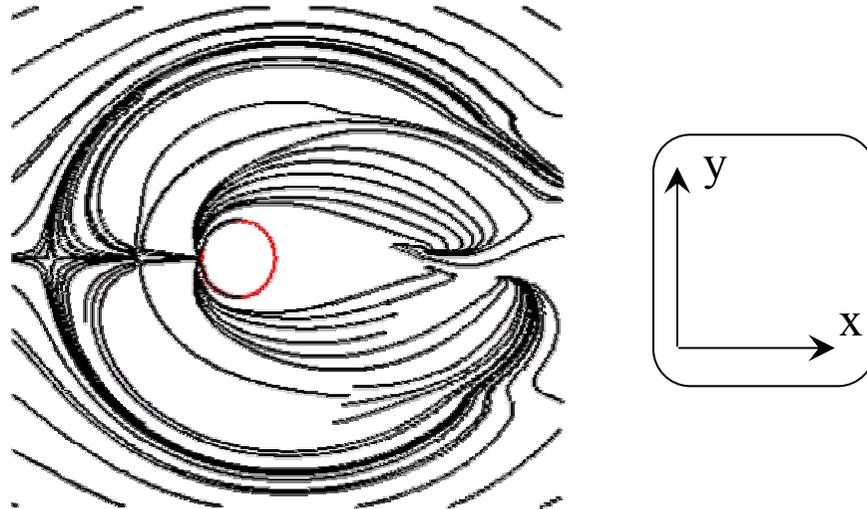


Re = 1500

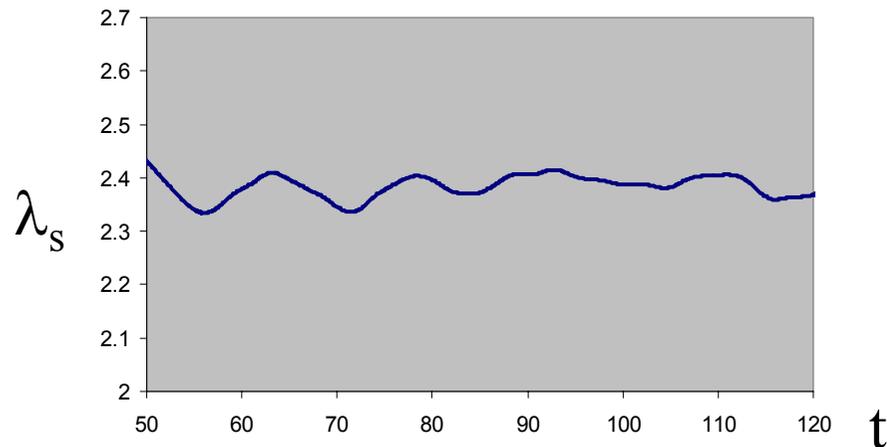
Три вихря: основной, вторичный
пристенный и третичный

Эффекты нестационарности обтекания ($Re = 1500, \delta^*/d \approx 0,25$)

Результаты для половинной области



Результаты для полной расчетной области



Изменение позиции переднего отрыва

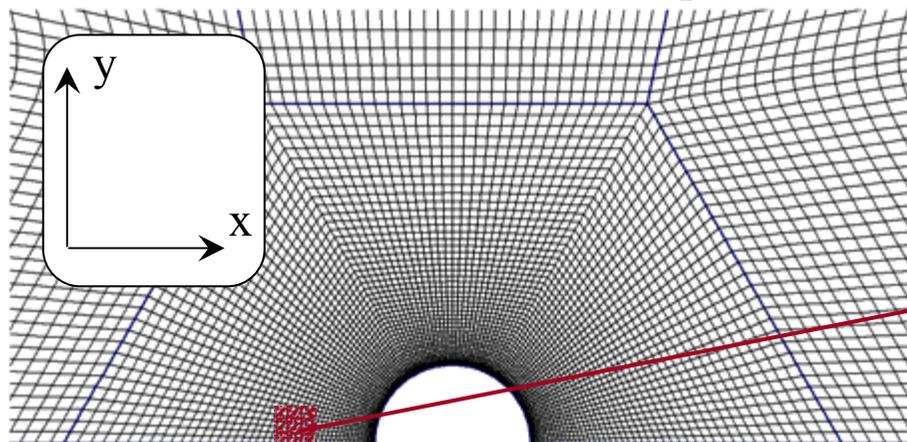
Точка	z/d	v_x/U_{in}
1	0,1	0,4%
2	1,6	1,3%
3	1,6	12%

Амплитуда колебаний скорости

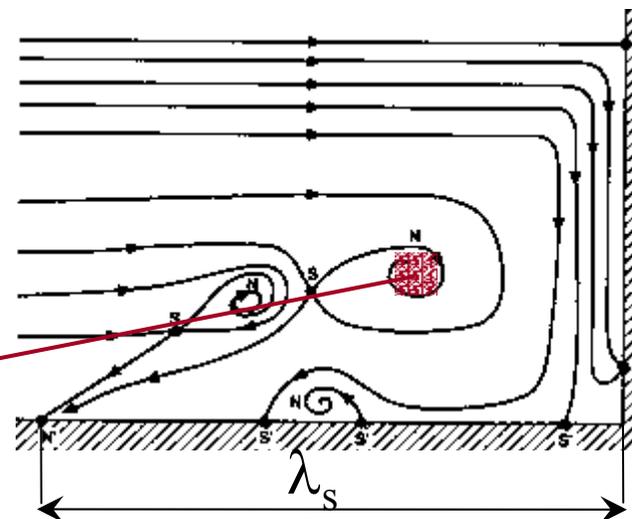
Сеточная чувствительность

Многоблочные структурированные сетки из Н- и О-блоков

Вид сетки вблизи цилиндра

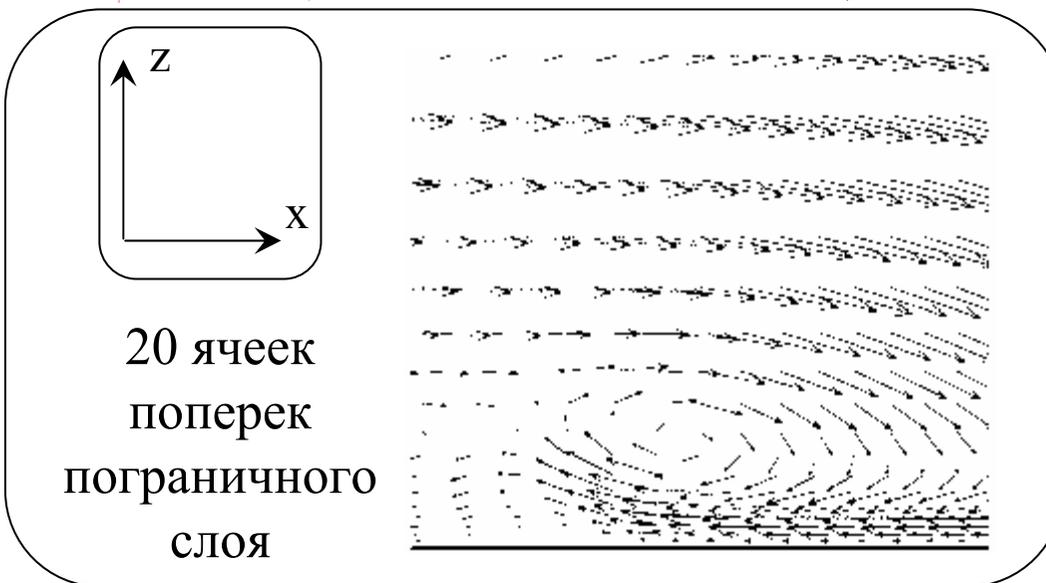


Характеристика качества плоской сетки – относительный размер ячейки Δ^*/d вблизи центра вихря (в плоскости XY)

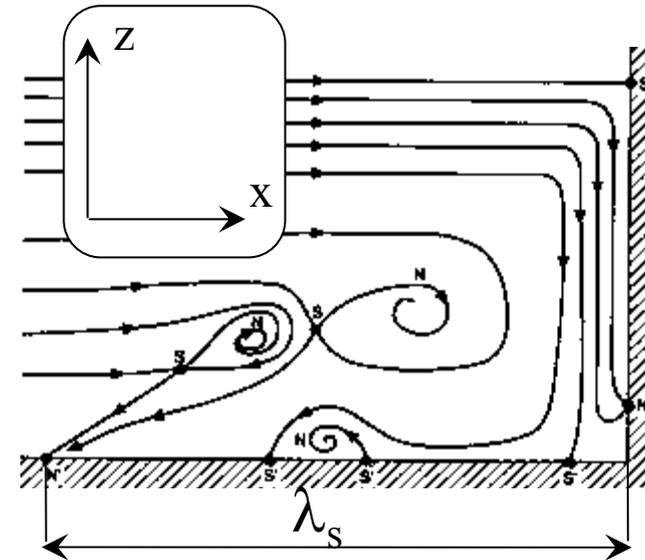
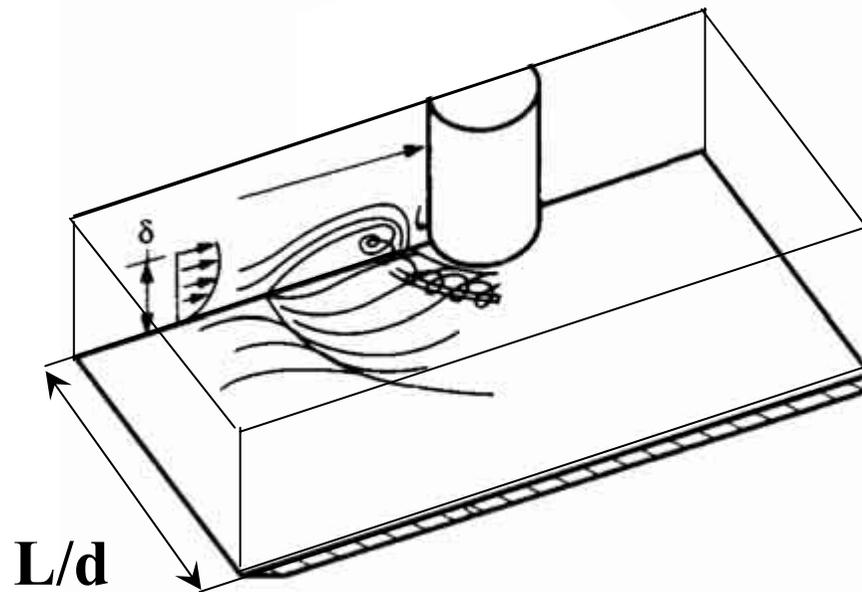


Результаты для $Re=1500$; $\delta^*/d=0,17$

Сетка	Δ^*/d	Число ячеек	λ_s/d
I	0,086	89.000	1,75
II	0,043	360.000	1,8
III	0,022	1.400.000	1,79



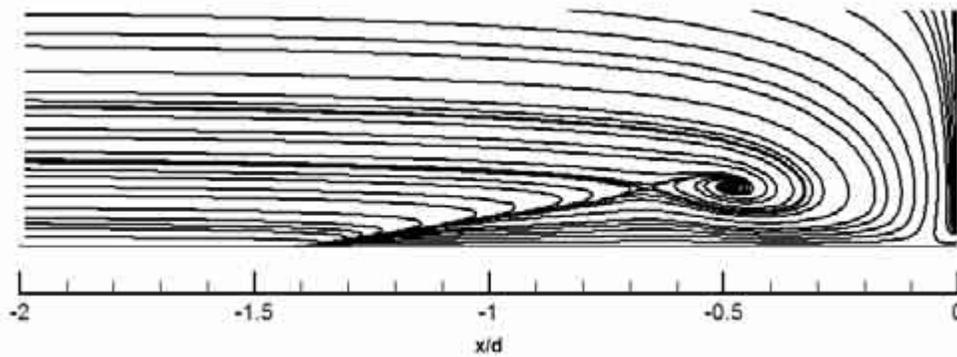
Влияние размеров расчетной области



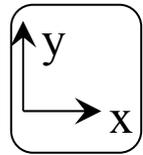
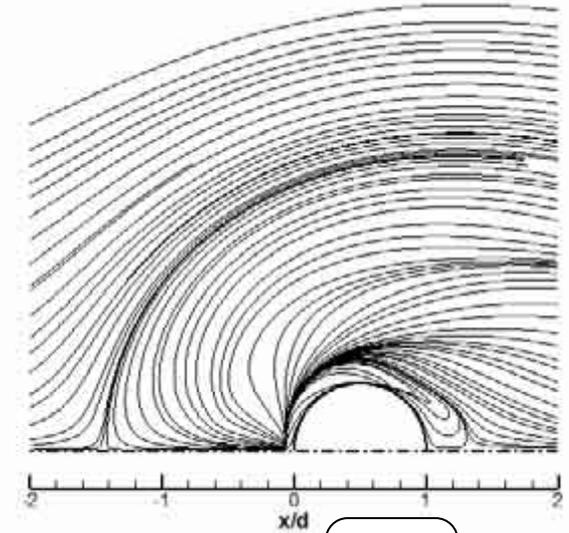
Результаты расчетов при $Re=1500$; $\delta^*/d=0,17$

Сетка	L/d	Загромождение	λ_s/d
1	8	6,3%	1,8
2	15	3,3%	1,86
3	23	2,2%	1,85

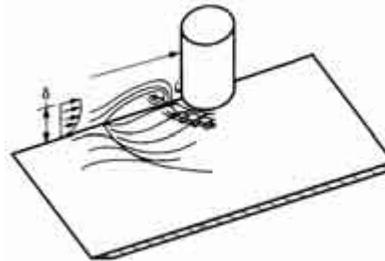
Топология вихревых структур: влияние Re ($\delta^*/d \approx 0,25$)



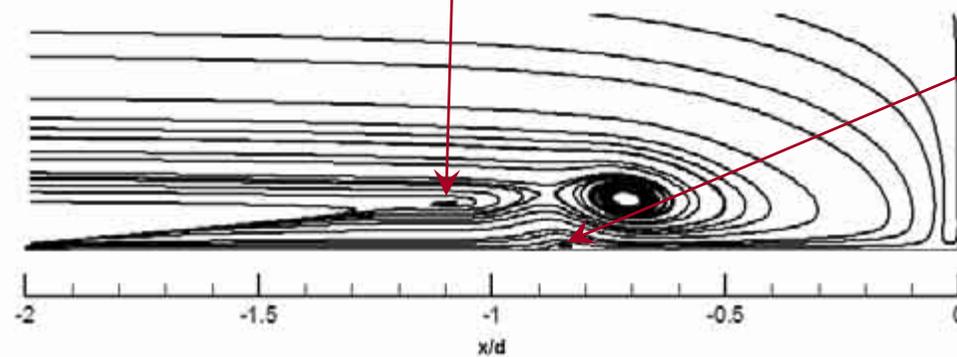
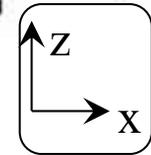
$Re = 500$



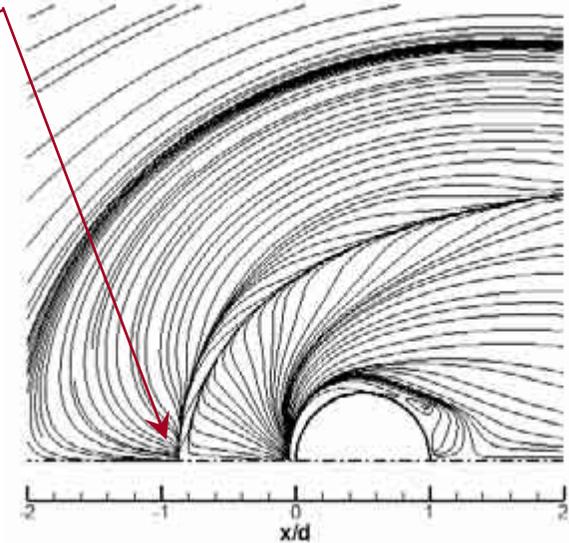
Наличие
третичного вихря
при большом Re



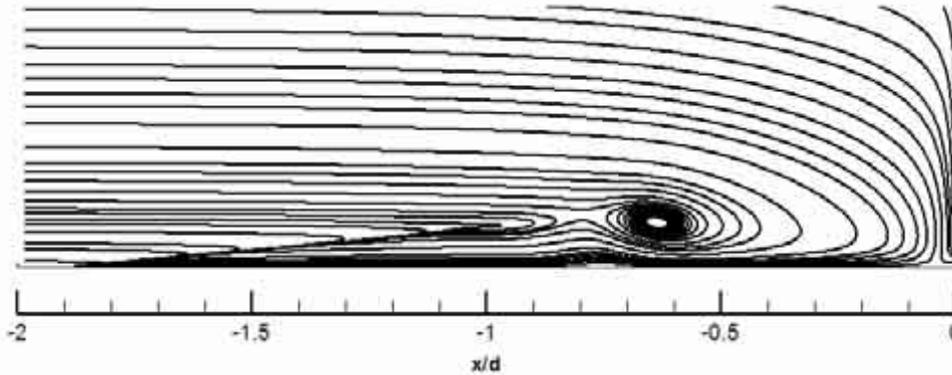
Наличие
вторичного вихря
при увеличении Re



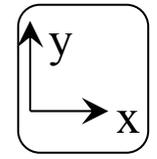
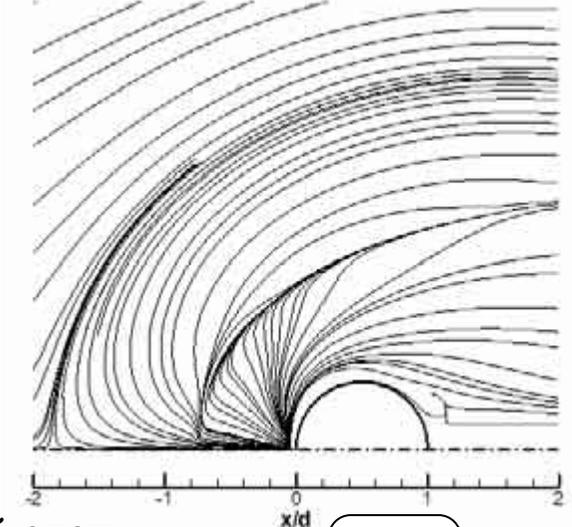
$Re = 1500$



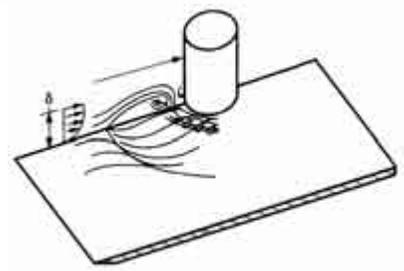
Топология вихревых структур: влияние δ^*/d ($Re = 1500$)



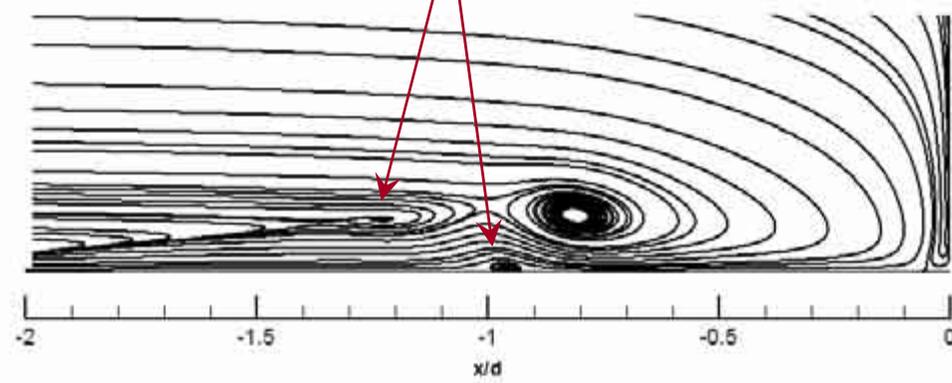
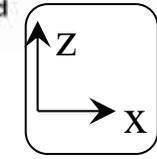
$\delta^*/d = 0,17$



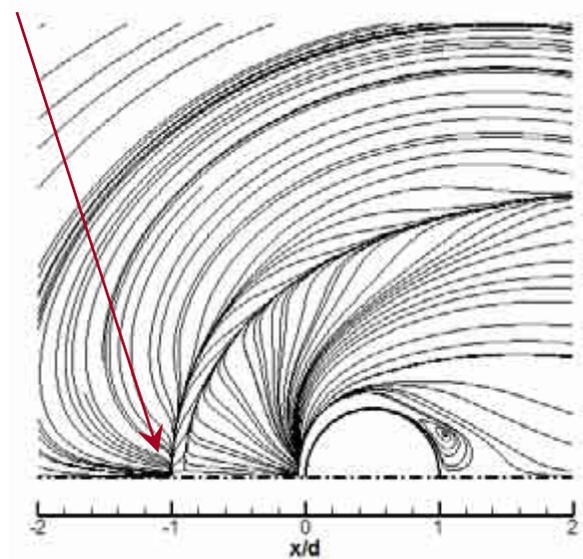
Рост интенсивности вихрей при увеличении δ^*/d



Двойной след вторичного вихря при увеличении δ^*/d



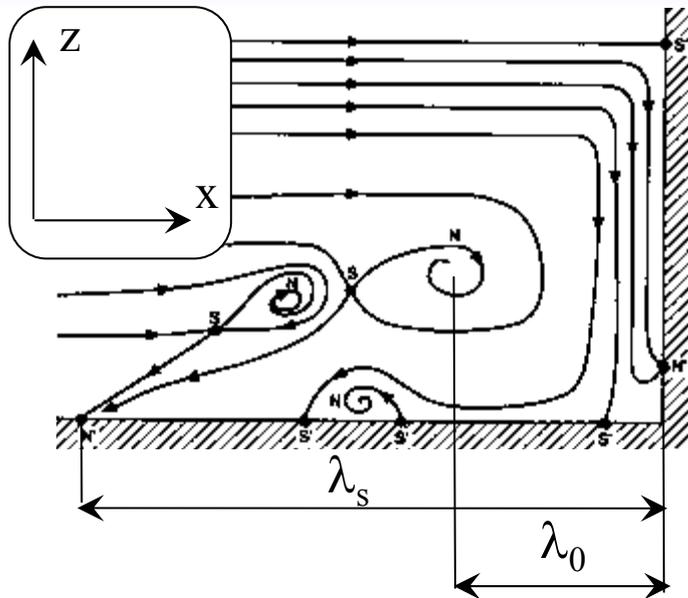
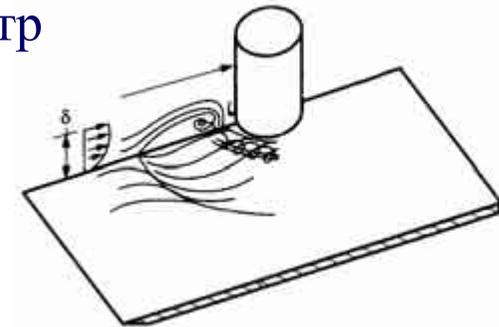
$\delta^*/d = 0,3$



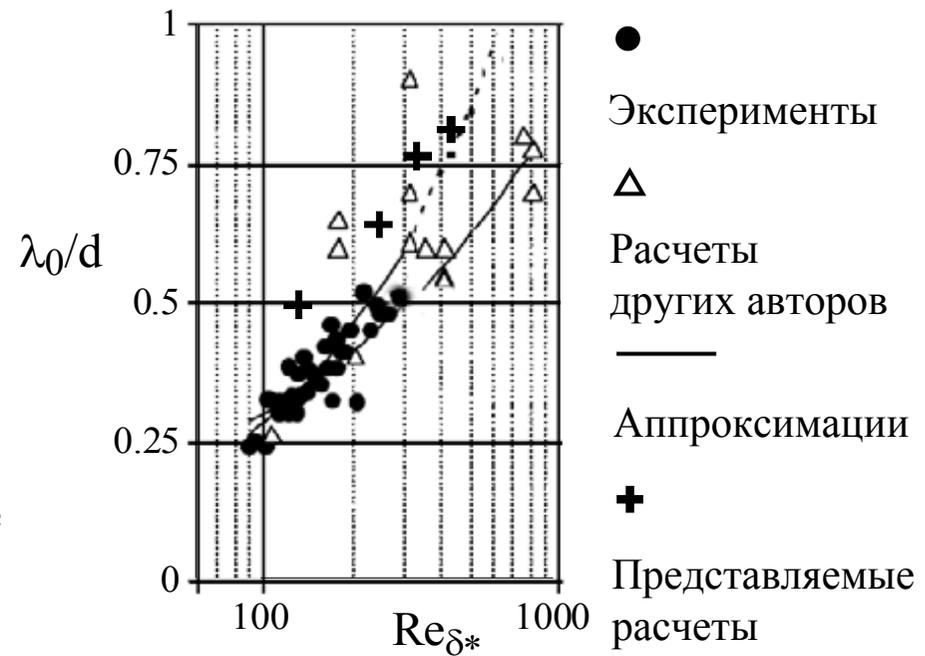
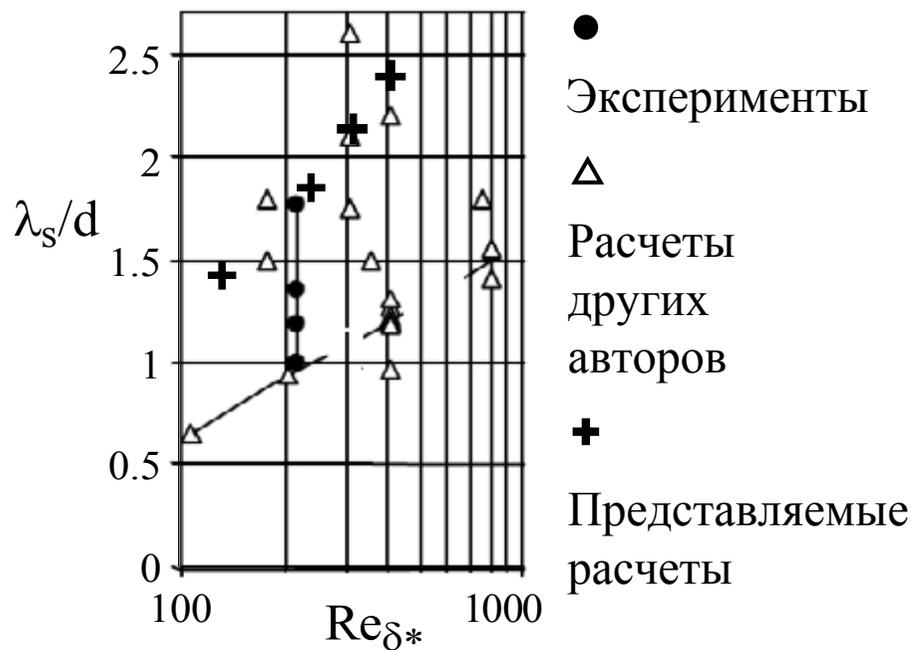
Вихревая структура: размеры

Определяющий (?) параметр

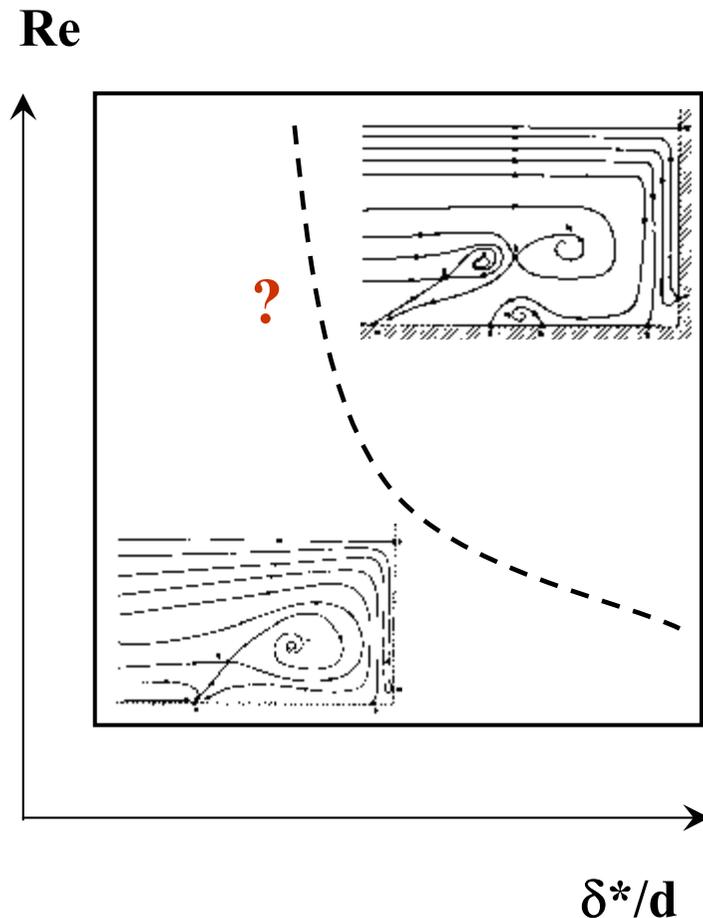
$$Re_{\delta^*} = \frac{U_{in} \delta^*}{\nu}$$



Литературные данные на графиках
из обзора *Ballio et al (1998)*



Выводы



- ❑ Проведено численное моделирование ламинарного течения в области сочленения кругового цилиндра с гладкой стенкой.
- ❑ Исследованы эффекты нестационарности течения вблизи препятствия, влияние качества разрешения сетки в области формирования подковообразного вихря и размеров расчетной области на получаемое решение.
- ❑ Получены соответствующие по форме и близкие по размерам вихревые структуры, в сравнении с литературными данными.
- ❑ Желательно продолжить расчеты для построения карты режимов, определяющих реализацию той или иной топологии вихревых структур.

Спасибо за внимание!

Санкт-Петербургский
государственный
политехнический
университет

*Кафедра
гидроаэродинамики*

Е-mail:
aero@phmf.spbstu.ru

