

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДКОВООБРАЗНЫХ СТРУКТУР, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПРИ НАТЕКАНИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

А.М. Левченя

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ) E-mail: [aero@phmf.spbstu.ru](mailto:aero@phmf.spbstu.ru)

$Re = V_{in} d / \nu$  24 400

Толщина пограничного слоя перед цилиндром,  $\delta_{99\%}/d$  0,345

Удлинение обтекателя 5:1

Высота цилиндра,  $h/d$  3

Диаметр цилиндра  $d$ , м 0,151

Скорость воды,  $V_{in}$ , м/с 0,147

**Цель работы: накопление опыта по численному моделированию турбулентных течений со сложной вихревой структурой**

**Эксперименты:**

**Praisner, Smith (2005)**

Течение воды

$T = 25^\circ\text{C}$  ( $Pr = 6,3$ )

Интенсивность турбулентности

$Tu = 0,5\%$

**Математическая модель**

- Турбулентное течение несжимаемой жидкости
- Уравнения Навье-Стокса и уравнение энергии
- Модели турбулентности:

$k-\omega$  (Wilcox, 1993)

MSST (Menter, 1994)

**Численный метод**

**(программный комплекс SINF)**

- Блочно-структурированные сетки, согласованные с границами области течения
- Пространственная дискретизация по методу контрольного объема со вторым порядком точности
- Значения переменных определены в центрах ячеек
- Схема QUICK для расчета конвективных слагаемых

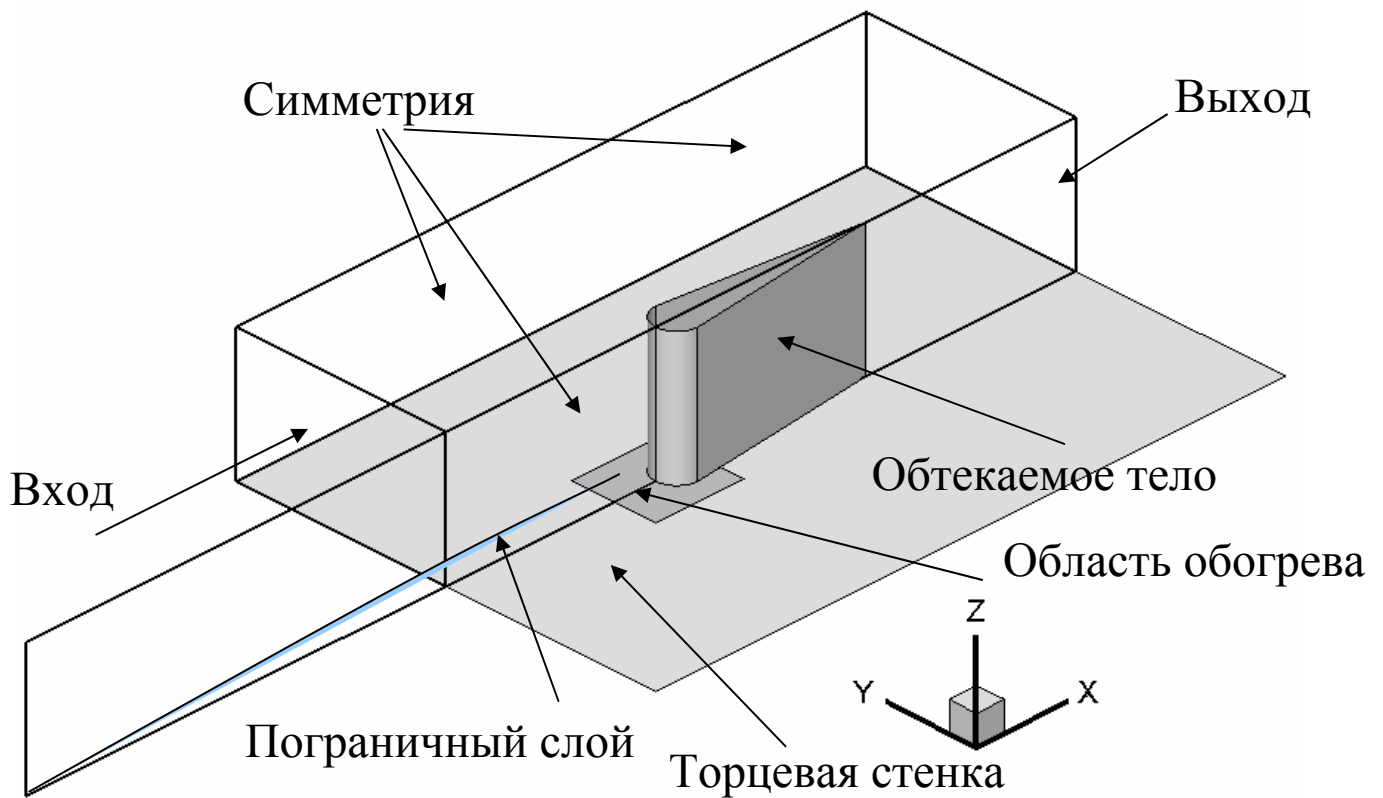
**Программный комплекс SINF разрабатывается на кафедре гидроаэродинамики СПбГПУ с 1993 года**

Отношение турбулентной вязкости к молекулярной на входе 6,7

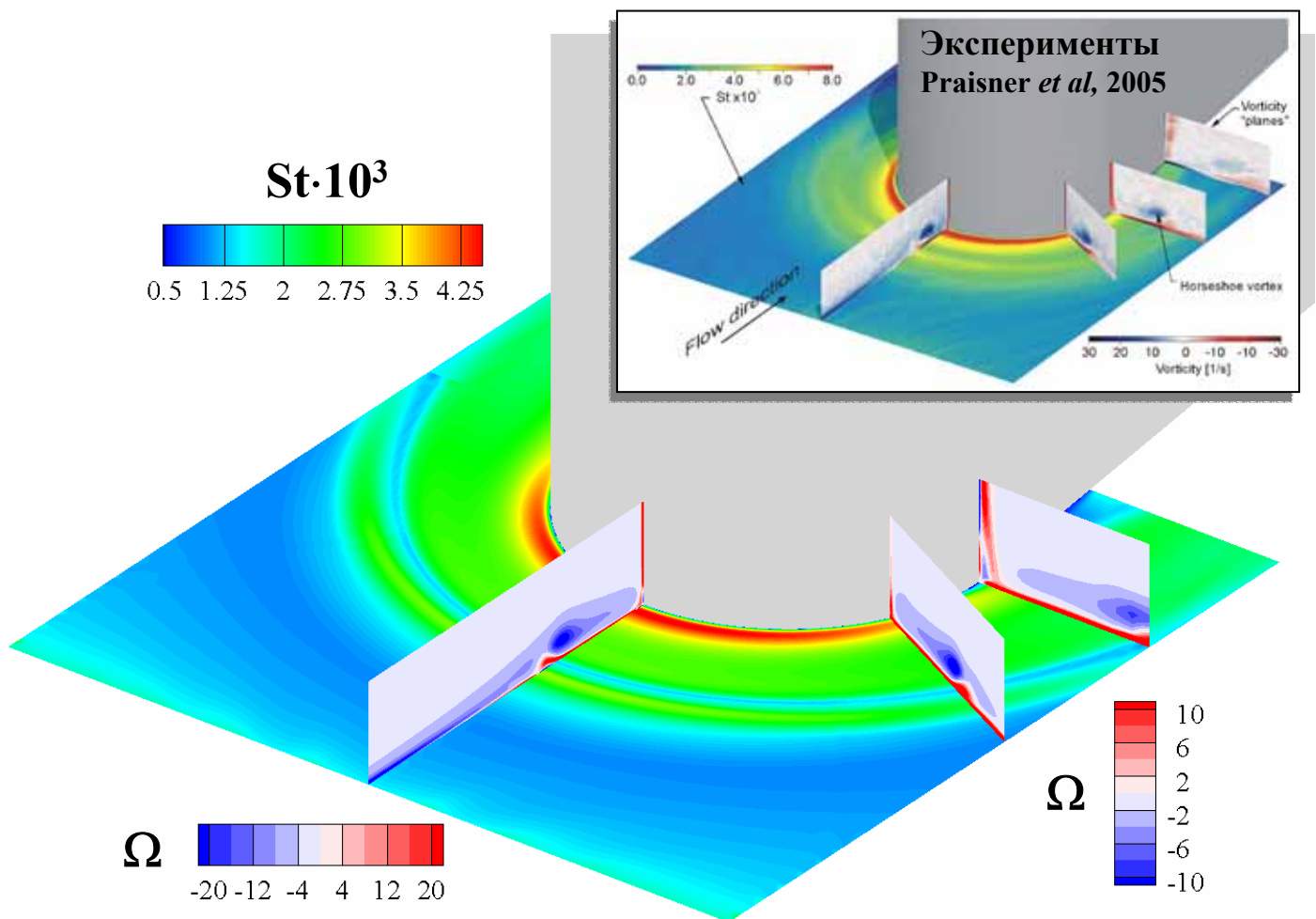
Турбулентное число Прандтля 0,9

Размерность трехмерных сеток, ячеек до 700 000

Средняя величина  $y^+$  на твердых стенках 0,55

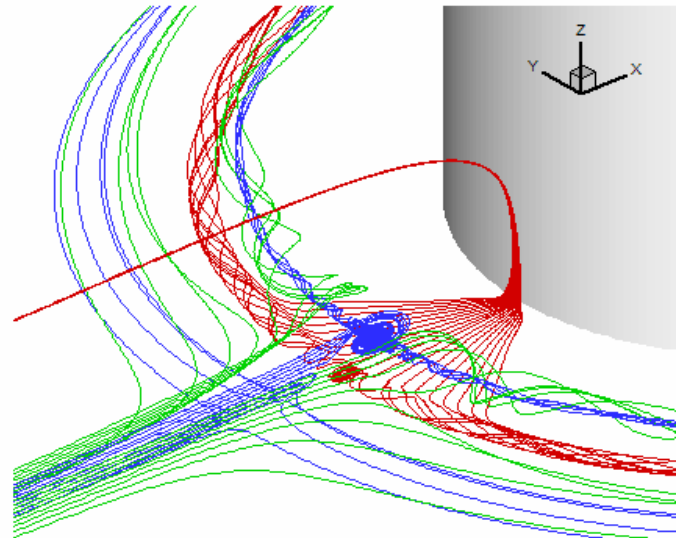
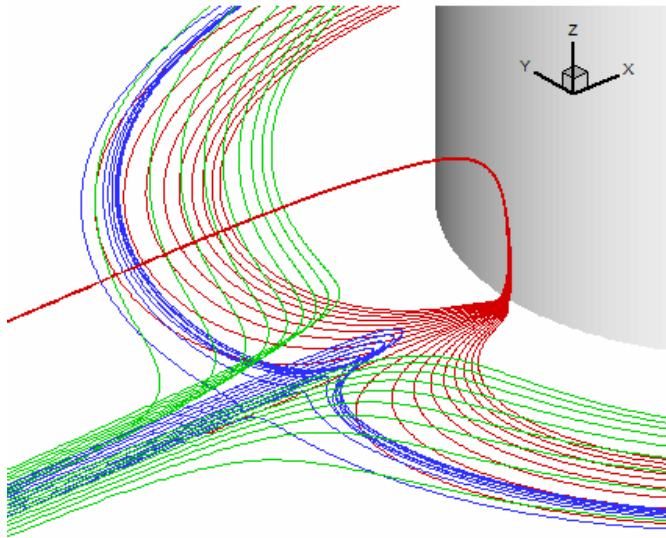


**Схема течения и общий вид расчетной области**



**Распределение завихренности (1/c) в вертикальных сечениях области и числа Стантона ( $St \cdot 10^3$ ) на торцевой стенке (эксперименты и расчеты по модели MSST)**

## Влияние выбора модели турбулентности (Линии тока перед цилиндром, сетка II)

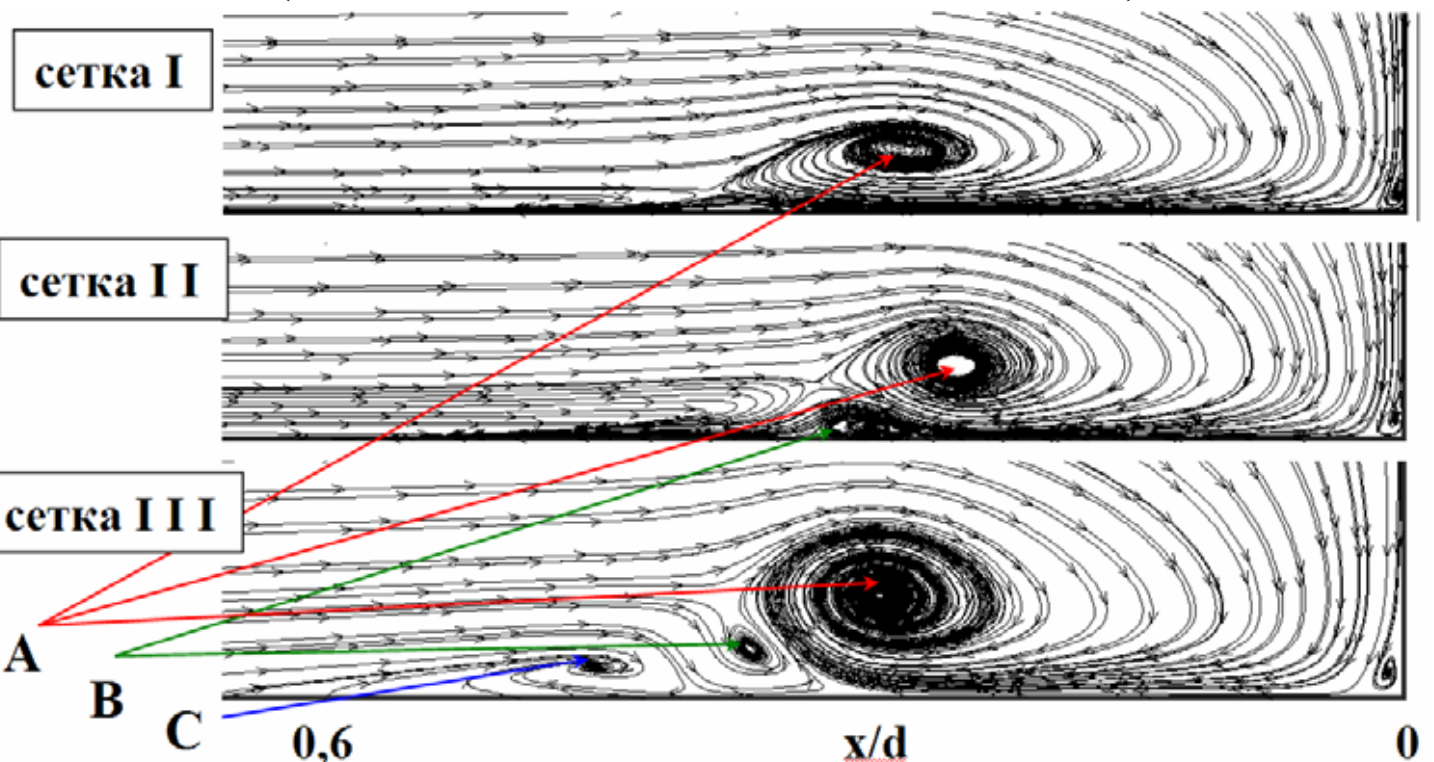


Модель  
 $k-\omega$

*Только модель MSST воспроизводит образование концентрированного вихря*

Модель  
MSST

Влияние степени детализации расчетной сетки  
(Линии тока в плоскости  $Y=0$ , модель MSST)

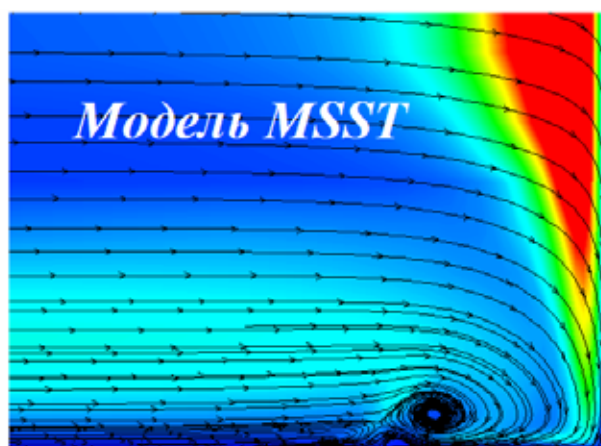
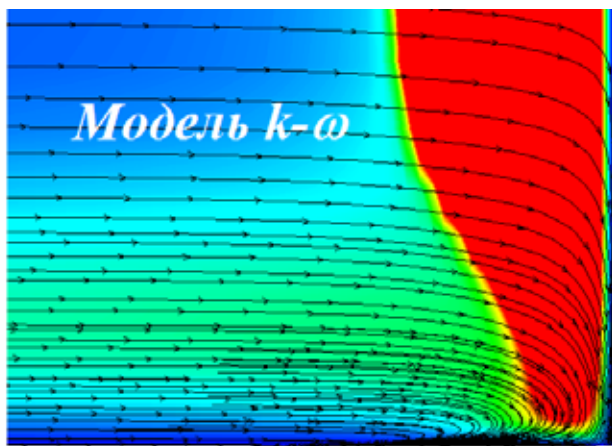
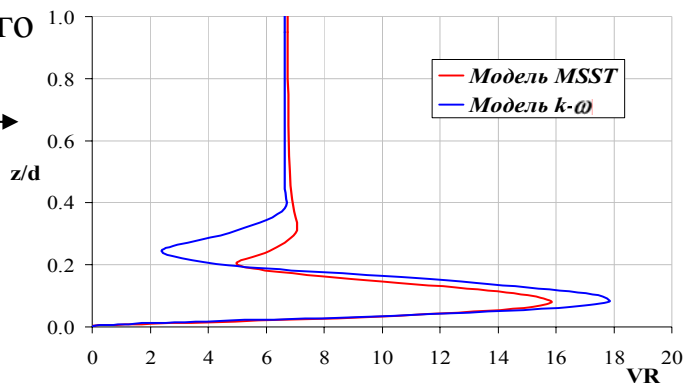
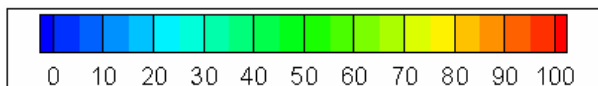


Сетка	Размер ячейки вблизи вихря А	Размерность сетки, ячеек	Заметные на решении вихри
I. Огрубленная	0,058	492 000	А
II. Базовая	0,023	538 000	А, В
III. Измельченная	0,01	658 000	А, В, С

## Отношение турбулентной вязкости к молекулярной (сетка II)

Распределение поперек пограничного слоя (на расстоянии  $10d$  перед цилиндром)

Распределение в плоскости  $Y=0$  перед цилиндром

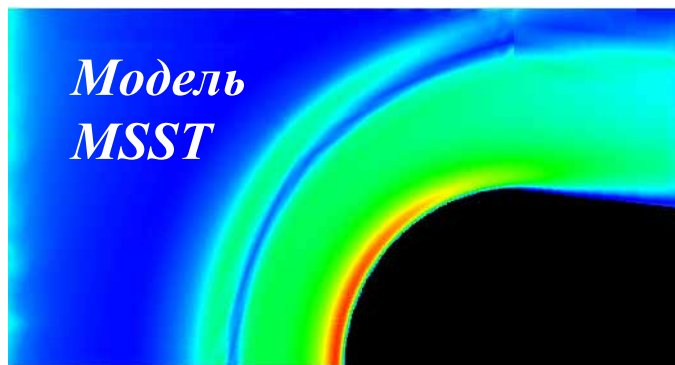
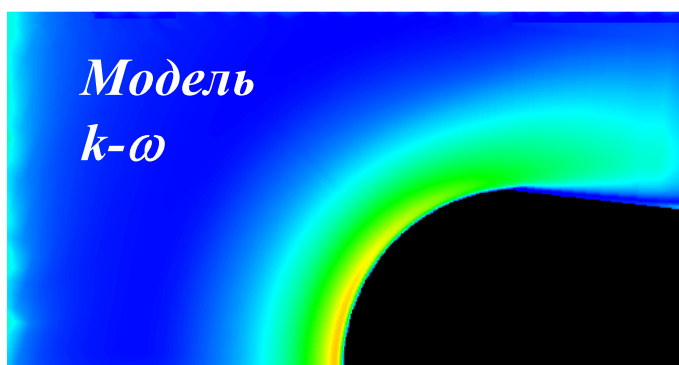
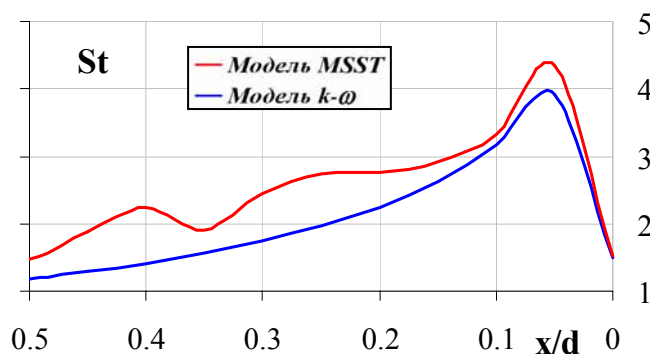
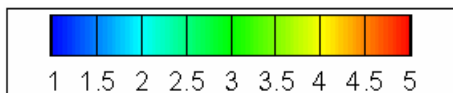


*Значительное уменьшение турбулентной вязкости моделью MSST позволяет развиваться концентрированному подковообразному вихрю*

## Распределение числа Стантона $St \cdot 10^3$ (сетка II)

Распределение вдоль линии  $Y=0$  в плоскости торцевой стенки ( $Z=0$ )

Распределение в плоскости  $Z=0$  перед цилиндром



*Наличие вторичного вихря приводит к образованию второго локального максимума теплоотдачи (модель MSST)*