

# Отчет

## Исследование задачи об обтекании кругового цилиндра

### Постановка задачи

Движение жидкости описывается нестационарным уравнением Навье-Стокса

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \nabla u = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta u, \nabla u = 0, Re = \frac{UR}{\nu}$$

С граничными условиями

$$x^2 + y^2 = 1: u_x = 0, u_y = 0, u_z = 0;$$

$$x \rightarrow \infty, y \rightarrow \infty: u_x = 1, u_y = 0, u_z = 0;$$

И начальными условиями

$$t = 0: u_x = 1, u_y = 0, u_z = 0;$$

Кинематическую вязкость будем изменять так, чтобы получить желаемое число Рейнольдса

$$\nu = \frac{2}{Re} \text{ м}^2/\text{с}$$

### Построение расчетной сетки

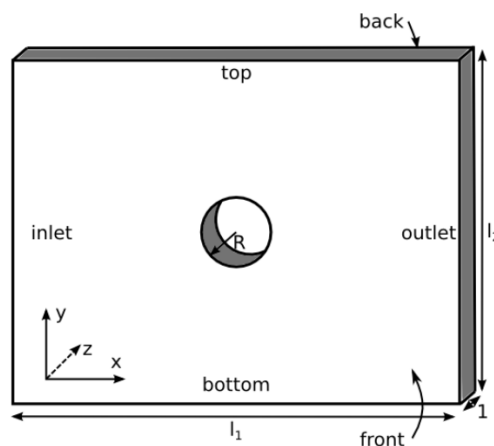


Рис.1 Расчетная область



55	39	40	41	42	43	51	15	16	17	18	19		
54	34	35	46	36	37	38	50	10	11	22	12	13	14
	44		47					20		23			
53	29	30	45	31	32	33	49	5	6	21	7	8	9
52	24	25	26	27	28		48	0	1	2	3	4	

Рис.2 Блочная структура сетки

## Рисунки

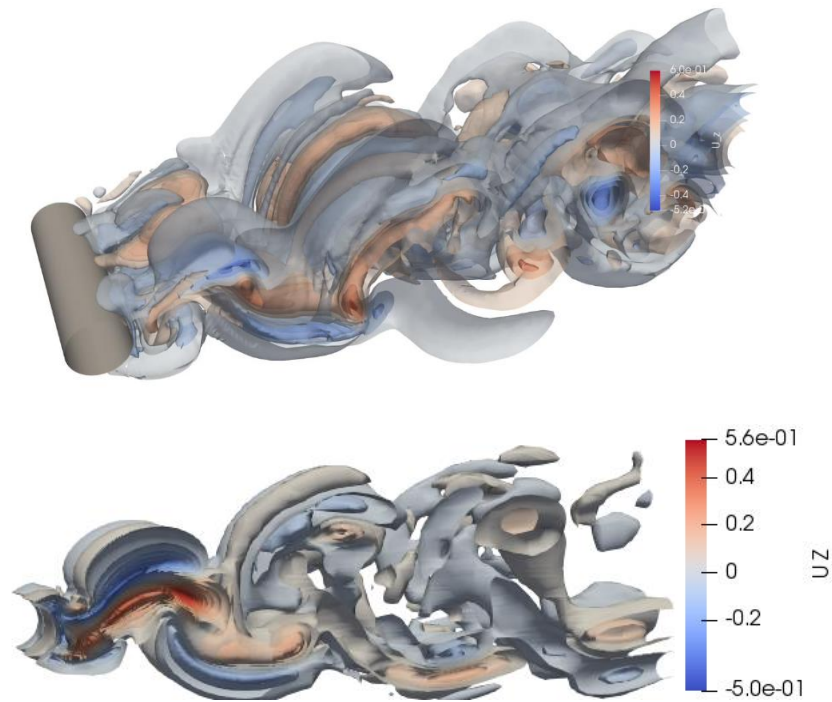


Рис.1 Визуализация трехмерного течения около цилиндра при Re=600 с помощью изоповерхностей z компоненты скорости.

## Интегральные характеристики

Коэффициент сопротивления  $C_D$

$$C_D = \frac{F_x}{U^2 2RL\rho/2}$$

Коэффициент подъемной силы

$$C_L = \frac{F_y}{U^2 2RL\rho/2}$$

Число Струхаля  $St$

$$St = \frac{f_1 2R}{U}$$

Среднее квадратическое значение коэффициента подъёмной силы  $C_L^{RMS}$

$$C_L^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} (C_L(t))^2 dt}$$

Значения характеристик представлены в таблице

Re	0.1	1	10	26	40	100	140	200	300	600
$C_D$	70	12	2.9	1.9	1.5	1.35	1.33	1.334	1.26	1.19
$C_L^{RMS}$	0	0	0	0	0	0.23	0.34	0.43	0.46	0.3
St	—	—	—	—	—	0.16	0.185	0.19	0.2	0.21

Таблица 1. Значения интегральных характеристик при различных Re для 2D цилиндра

Re	200	600
$C_D$	1.33	1.14
$C_L^{RMS}$	0.47	0.29
St	0.2	0.2

Таблица 2. Значения интегральных характеристик при различных Re для 3D цилиндра

Re = 200

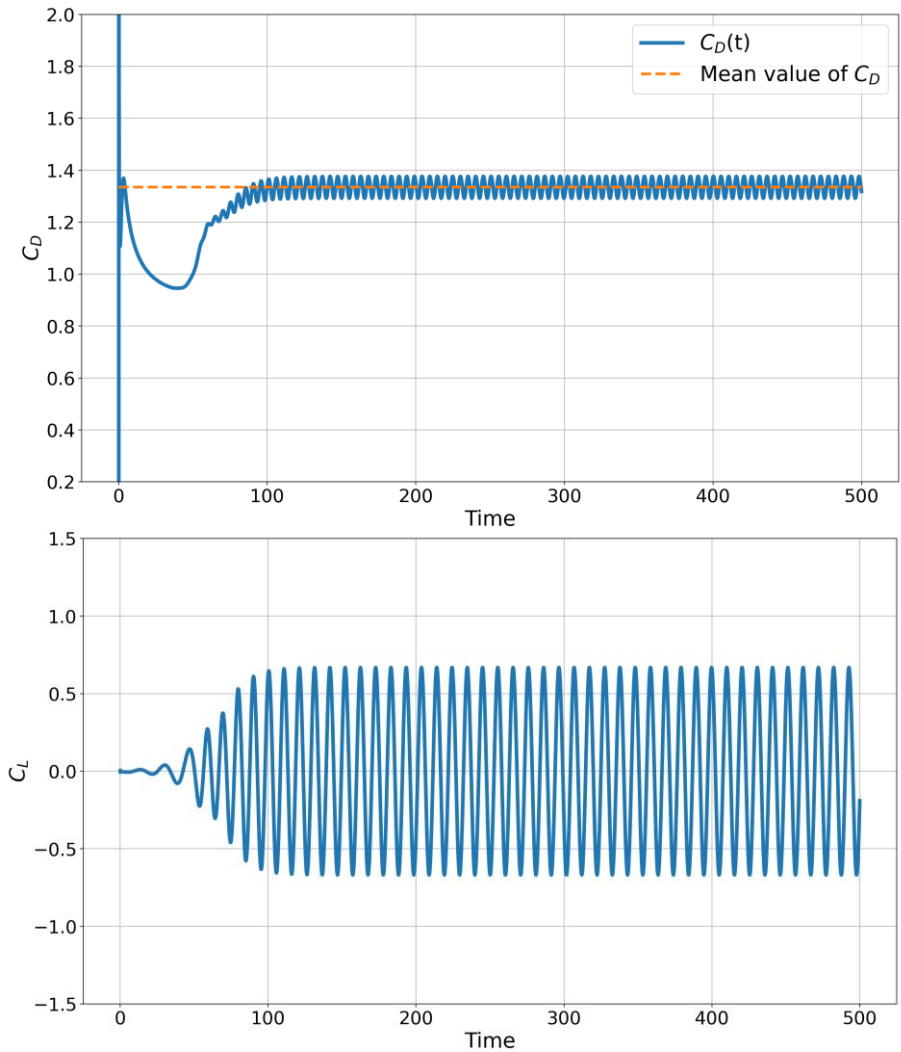


Рис.2 Значения  $C_D$  и  $C_L$  при Re = 200

Re = 600

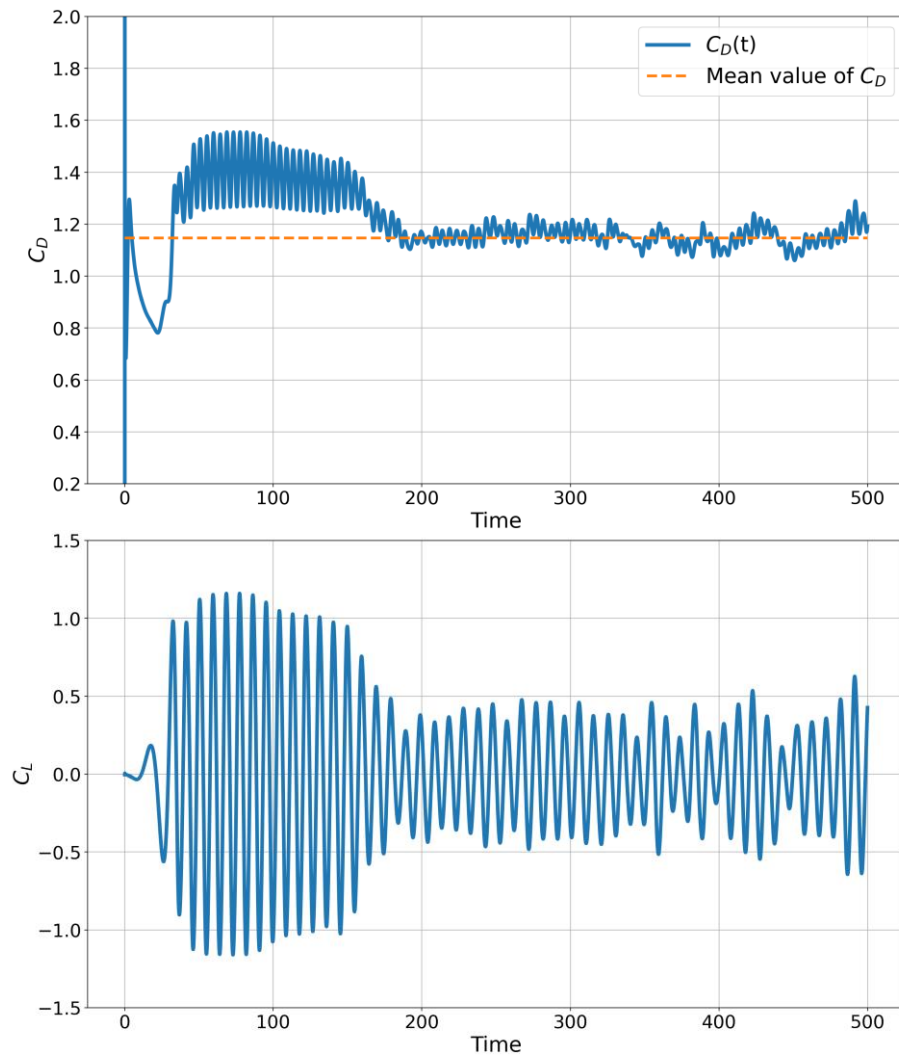


Рис.3 Значения  $C_D$  и  $C_L$  при  $Re = 600$

### Энергетический спектр пульсаций и спектральная мощность пульсаций

$$u'_x = u_x - \overline{u_x}, \quad u'_y = u_y - \overline{u_y}, \quad u'_z = u_z - \overline{u_z},$$

$$\hat{u}'_x(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-T/2}^{T/2} u'_x(t) e^{-2\pi i f t} dt, \quad \hat{u}'_y(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-T/2}^{T/2} u'_y(t) e^{-2\pi i f t} dt,$$

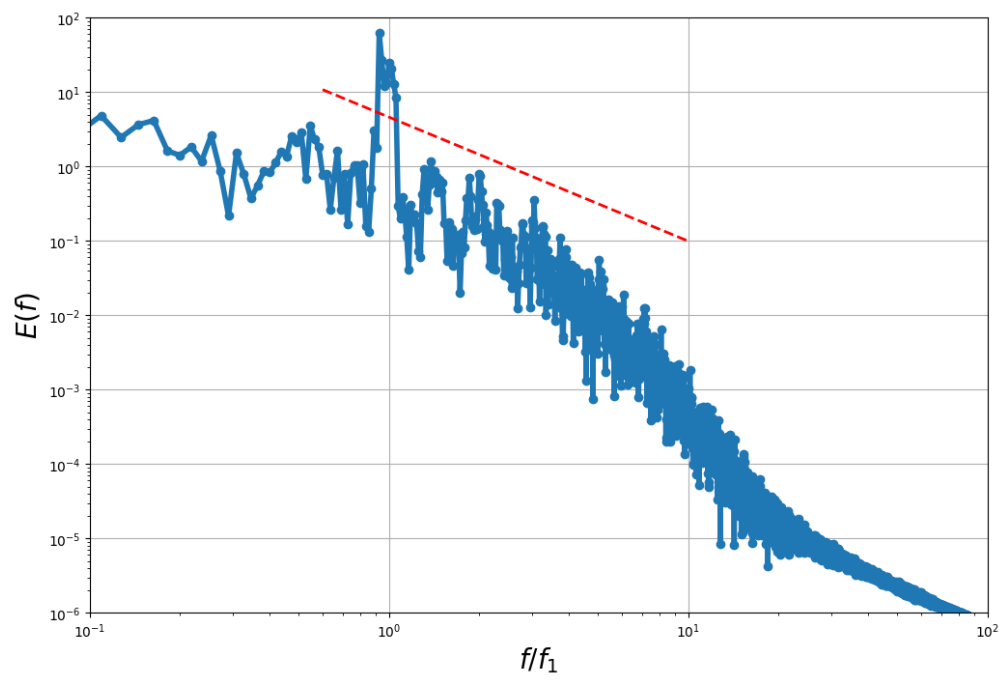
$$\hat{u}'_z(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-T/2}^{T/2} u'_z(t) e^{-2\pi i f t} dt$$

$$E(f) = (\hat{u}'_x(f))^2 + (\hat{u}'_y(f))^2 + (\hat{u}'_z(f))^2$$

$$PSD(f) = E(f)/T$$

Здесь  $u'_x, u'_y, u'_z$  - пульсации скорости,  $\overline{u_x}, \overline{u_y}, \overline{u_z}$  - средние скорости,  $f$  - частота пульсаций.

$Re = 600$



Re = 200

