

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ  
ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КРУГЛОГО ЦИЛИНДРА  
ПОСРЕДСТВОМ УСТАНОВКИ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПЛАСТИНЫ**

Снижение лобового сопротивления плохообтекаемых тел – одна из проблем современной аэродинамики, которой посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования [1-5]. В данной работе изучается возможность снижения лобового сопротивления одного из таких неудобнообтекаемых тел – круглого цилиндра. Снижение лобового сопротивления достигается за счёт расположения перед телом криволинейной пластины под углом отклонения. Исследование выполнено в программе математического моделирования Flow Simulation [6].

Объектом исследования являлся круглый цилиндр диаметром  $D = 62,5$  мм. Теоретические и экспериментальные исследования по обтеканию круглого цилиндра при расположении перед ним плоской пластины были ранее выполнены в работах [7,8]. В данной работе рассматривается способ снижения сопротивления цилиндра при расположении перед ним искривлённой пластины. На рис. 1 приведены основные геометрические характеристики цилиндра с пластиной, где  $d = D/2$  – диаметр искривлённой пластины в мм,  $h = D/10$  – ширина щели, между кромкой пластины и поверхностью цилиндра в мм,  $c = 2$  мм – толщина пластины,  $b = d/4$  – хорда пластины в мм,  $\theta$  – меридиональный угол положения кромки пластины, изменяющийся в диапазоне от 0 до 80 град.

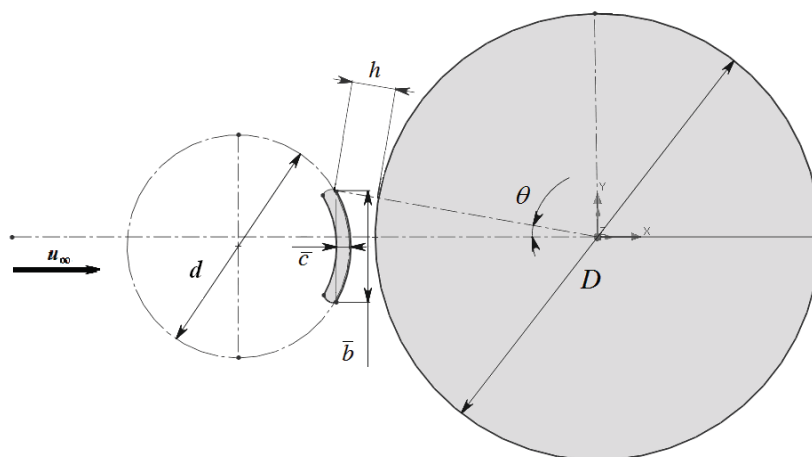


Рис. 1. Геометрические характеристики цилиндра с криволинейной пластиной

Расчёт обтекания круглого цилиндра в программе Flow Simulation производился для стационарного случая течения вязкой несжимаемой жидкости при числе Рейнольдса  $Re = \rho u D / \mu = 10^5$ , где  $\rho = 1,204 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха и  $\mu = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$  – динамическая вязкость воздуха при температуре  $t = 20^\circ \text{C}$ .

Расчёт коэффициента лобового сопротивления для выбранной конфигурации тел проводился на основе метода импульсов. Коэффициент лобового сопротивления определялся формулой [4]:

$$C_{xa} = \frac{\rho}{q \cdot D} \int_{a_1}^{b_1} u_1 (u_\infty - u_1) dy,$$

где  $q$  – скоростной напор,  $\text{Па}$ ;  $u_1$  – скорость в сечении следа позади тела, отстоящего на  $20D$  от задней кромки круглого цилиндра,  $\text{м/с}$ ;  $a_1, b_1$  – границы следа вдоль оси  $y$ ,  $\text{мм}$ .

На рис. 2 представлены расчётные значения коэффициента лобового сопротивления для круглого цилиндра в присутствии криволинейной пластины в диапазоне  $0 \leq \theta \leq 80 \text{ град}$  с шагом в  $10 \text{ град}$  в сравнении с экспериментальными данными для изолированного круглого цилиндра [1, 5, 8, 9].

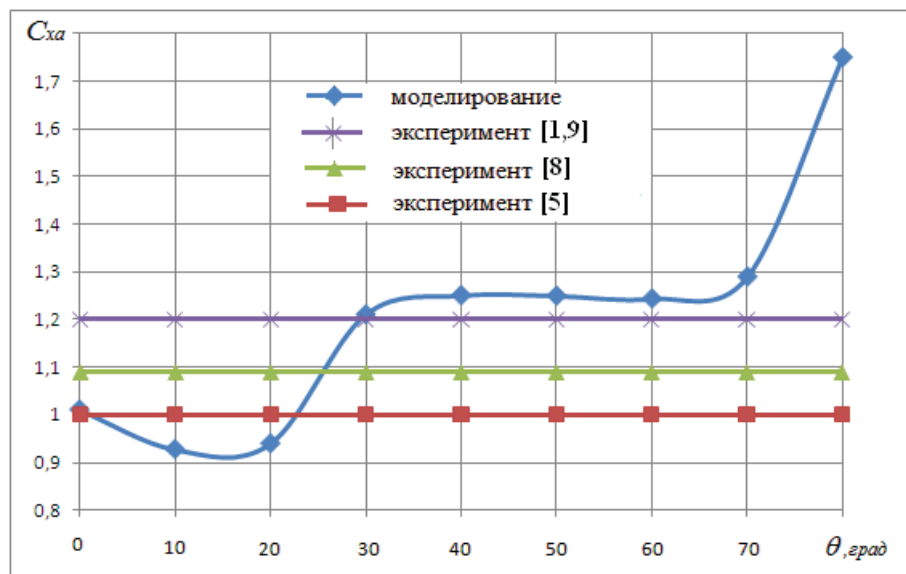


Рис. 2. Сравнение значений коэффициента лобового сопротивления, полученных по результатам моделирования для цилиндра с криволинейной пластиной, с известными экспериментальными данными для изолированного цилиндра

Наименьшие значения коэффициента лобового сопротивления имеют место в диапазоне  $10 \leq \theta \leq 20 \text{ град}$ . Расположение пластины в диапазоне углов  $30 \leq \theta \leq 80 \text{ град}$  приводит к превышению значений коэффициента лобового сопротивления цилиндра с пластиной над значениями той же величины для изолированного цилиндра.

Рассчитаны величины лобового сопротивления цилиндра с криволинейной пластиной, установленной под углом отклонения  $\delta$ , при меридиональных углах расположения пластины относительно цилиндра  $\theta=10$  и  $20$  град (рис. 3).

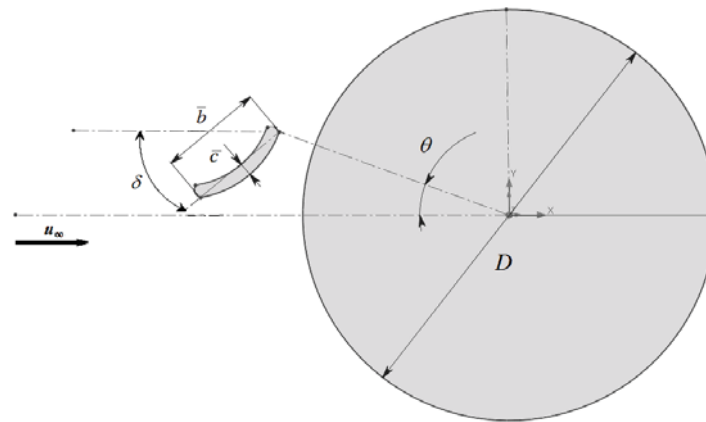


Рис. 3. Геометрические характеристики цилиндра с криволинейной пластиной, расположенной под углом отклонения  $\delta$

Углы  $\delta$  изменялись в диапазоне  $350 - 70$  град. В табл. 1 приведены расчётные значения коэффициента лобового сопротивления при расположении пластины относительно цилиндра при  $\theta=10$  и  $20$  град с шагом по  $\delta$   $20$  град.

Таблица 1 – Значения  $C_{xa}$  для различных значений  $\delta$  при  $\theta=10$  и  $20$  град.

$\theta$ , град	$\delta$ , град				
	350	10	30	50	70
10	0,931	0,934	0,930	0,929	0,928
20	0,987	0,911	0,911	0,926	0,927

На рис. 4 показаны значения коэффициента лобового сопротивления для углов  $\delta$  при двух значениях угла положения  $\theta$ .

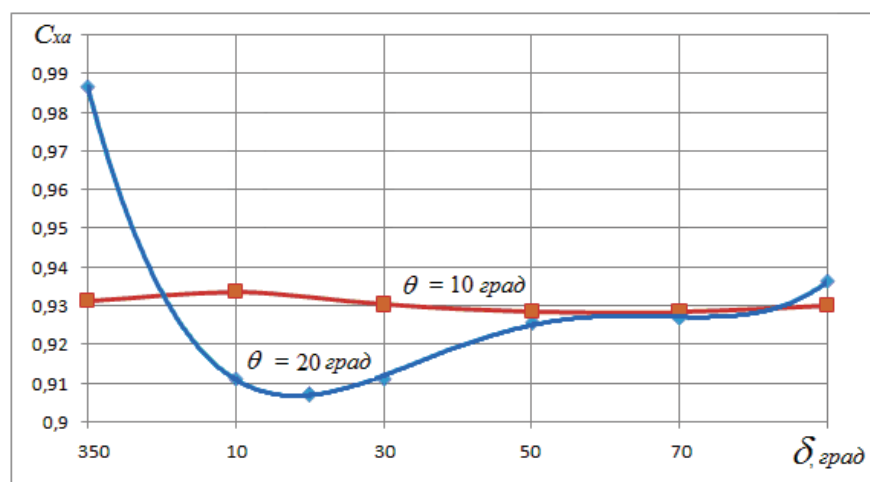


Рис. 4. Геометрические характеристики цилиндра с криволинейной пластиной, расположенной под углом  $\delta$

Наименьшее значение коэффициента лобового сопротивления  $C_{xa} = 0,907$  получено при меридиональном угле  $\theta = 20$  град и угле отклонения  $\delta = 20$  град.

Учитывая, что экспериментальные значения для круглого изолированного цилиндра  $C_{xa} \approx 1$  [1,5,8,9], за счёт расположения перед цилиндром криволинейной пластины с хордой, равной половине радиуса основного цилиндра, можно получить снижение лобового сопротивления примерно на 10%.

#### Библиографический список

1. Chutkey, K., Near wake field of circular cylinder with a forward splitter plate [Text] /K. Chutkey, P. Suriyanarayanan //Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. – 2018. – No. 173, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.11.019>
2. Корнилов, В.И. Управление турбулентным пограничным слоем путём вдува воздуха за счёт ресурсов внешнего потока [Текст] /В.И. Корнилов, А.В. Бойко, И.Н. Кавун // Теплофизика и аэромеханика. – 2015. – Том 22, № 4. – С. 429-443.
3. Догваль, А.В. Применение отсоса потока для управления сходом крупномасштабных вихрей при отрыве пограничного слоя [Текст] / А.В. Догваль, А.М. Сорокин //Прикладная механика и техническая физика. – 2006. – Том 47, № 4 (278). – С. 60-65.
4. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг – М.: Наука – 1974. – 618 с.
5. Девнин, С.И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций [Текст] / С.И. Девнин – Ленинград.: Судостроение – 1983. – 320 с.
6. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарёв – СПб.: БХВ-Петербург – 2008. – 1040 с.
7. Frolov, V.A. Reducing cylinder drag by adding a plate [Text] /V.A. Frolov, A.S. Kozlova //AIP Conference Proceeding. – 2017. – No.1893, 030074. (<https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85034240937&origin=inward>).
8. Фролов, В.А. Экспериментальное исследование способа снижения сопротивления круглого цилиндра посредством установки плоской пластины [Текст] / В.А. Фролов, А.С. Козлова // Вестник Самарского университета «Аэрокосмическая техника. Технология и машиностроение». – 2017. – Том 16, № 3. – С. 165-172. (<http://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/issue/view/252>)
9. Katz, J. Low-speed aerodynamics [Text] / J. Katz, A. Plotkin – McGraw-Hill Book Co., – 1991.