

*Дидковский А.А.*

*студент МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Россия, г. Москва*

### **ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ**

*Аннотация:* статья посвящена рассмотрению вопроса приближенного вычисления аэродинамических сил и моментов, действующих на твердое тело в ламинарном потоке газа, применимого для факультативного ознакомления школьников с основами физического рассмотрения явления и первичных инженерных расчетов. Кратко описана теоретическая основа расчета. Результаты расчета сопоставлены с экспериментальными данными при обдуве шара.

*Ключевые слова:* физика, аэродинамика, аэродинамические силы.

*Didkovsky A.A.*

*student of the BMSTU*

*Russia, Moscow*

### **APPROXIMATE CALCULATION OF AERODYNAMIC FORCES**

*Annotation:* The article is devoted to the consideration of the approximate calculation of aerodynamic forces and moments acting on a solid body in a laminar flow of gas, applicable for facultative acquaintance of schoolchildren with the basics of physical consideration of the phenomenon and primary engineering calculations. The theoretical basis of the calculation is briefly described. The results of the calculation are compared with the experimental data for balloon blowing.

*Keywords:* physics, aerodynamics, aerodynamic forces.

Рассмотрим обтекание произвольного твердого тела, заданного некоторой замкнутой поверхностью  $\sigma(x,y,z)$ . Примем, что аэродинамические силы связаны только с абсолютно упругими ударами молекул газа о поверхность и после соударения молекула больше не взаимодействует с телом. Также пренебрежем некоторым разрежением газа за телом. То есть данное

рассмотрение справедливо при малых скоростях потока и пренебрежимо малом трении.

Для решения задачи разобьем поверхность на элементарные площадки площадью  $dA$ , положение которых в пространстве задано углами  $\gamma$  и  $\theta$ .

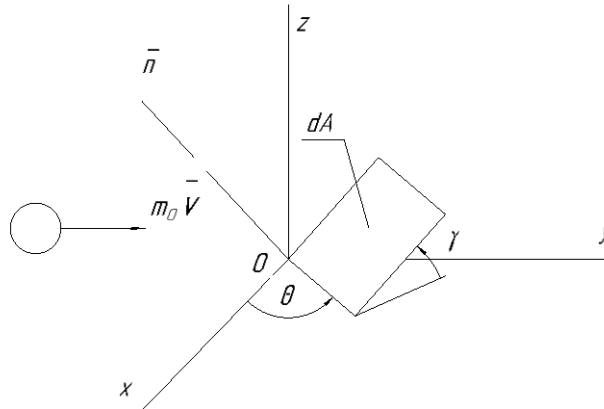


Рисунок 1. Удар молекулы о элементарную площадку

Рассмотрим удар одной молекулы с данной площадкой на основании 2-го (в общем виде) и 3-го законов Ньютона и определим силы, которые необходимо приложить к площадке для ее уравнивания.

Для этого технически удобно определить вектор импульса молекулы после отражения, как вектор, который в сумме с  $-\vec{p}_0$  коллинеарен с нормалью к элементарной площадке.

Получим (Рис.1):

$$\begin{aligned}
 F_x dt &= -p_0 \sin^2 \gamma \sin 2\theta \\
 F_y dt &= 2p_0 \sin^2 \gamma \cos^2 \theta \quad (1) \\
 F_z dt &= -p_0 \sin 2\gamma \cos \theta
 \end{aligned}$$

, где  $p_0$  – импульс одной молекулы.

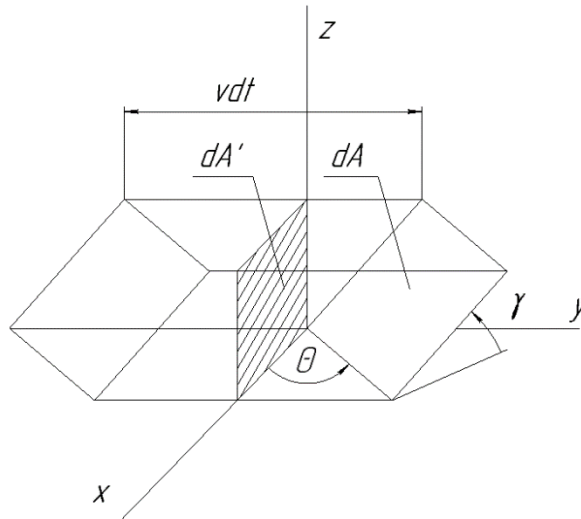


Рисунок 2. К расчету реакций элементарной площадки

Определим  $p_0$  через макропараметры газа:

$$dm = dA' v dt = dA' \sin \gamma \cos \theta v dt$$

$$p_0 = v dm = \rho v^2 \sin \gamma \cos \theta dt dA \quad (2)$$

$p_0$  в данном случае уже рассматривается как импульс элементарного объема газа, взаимодействующего с элементарной площадкой в течении времени  $dt$  (Рис. 2).

Таким образом при подстановке (2) в систему (1) получим:

$$F_x = -2\rho v^2 \sin^3 \gamma \sin \theta \cos^2 \theta dA$$

$$F_y = 2\rho v^2 \sin^3 \gamma \cos^3 \theta dA \quad (3)$$

$$F_z = -2\rho v^2 \sin^2 \gamma \cos \gamma \cos \theta dA$$

Система уравнений (3) определяет силы, которые необходимо приложить к элементарной площадке  $dA$ , чтобы уравновесить поток газа с плотностью  $\rho$ , движущегося в направлении оси  $Oy$  со скоростью  $v$ .

Для определения элементарной площадки  $dA$ , очевидно, необходимо знать уравнение поверхности, определяющей рассматриваемое твердое тело.

В ходе работы была также была оценена точность метода. А именно, произведен расчет силы сопротивления для шара с исходными данными:

$$R = 0.5 \text{ м}; v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \rho = 1.28 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

При этом получен результат

$$F = 28.444 \text{ Н}$$

Что на 4.8% меньше силы, определенной через экспериментальный аэродинамический коэффициент ( $C = 0.5945$ ). Погрешность приемлема для первичных и проверочных расчетов и согласуется с принятыми допущениями.

Затронем также два практически важных вопроса:

1) Определение аэродинамических моментов

Для этого необходимо записать в выбранной системе координат выражение для момента относительно данной оси от реакций на элементарной площадке с заданными координатами, а затем проинтегрировать по поверхности твердого тела.

2) Определение аэродинамического центра давления

После того, как относительно центра системы координат (в частном случае, центра масс тела) определены все 6 составляющих реакции, для определения координат центра давления можно воспользоваться основами теоретической механики и записать выражение для моментов относительно произвольной системы координат через данную:

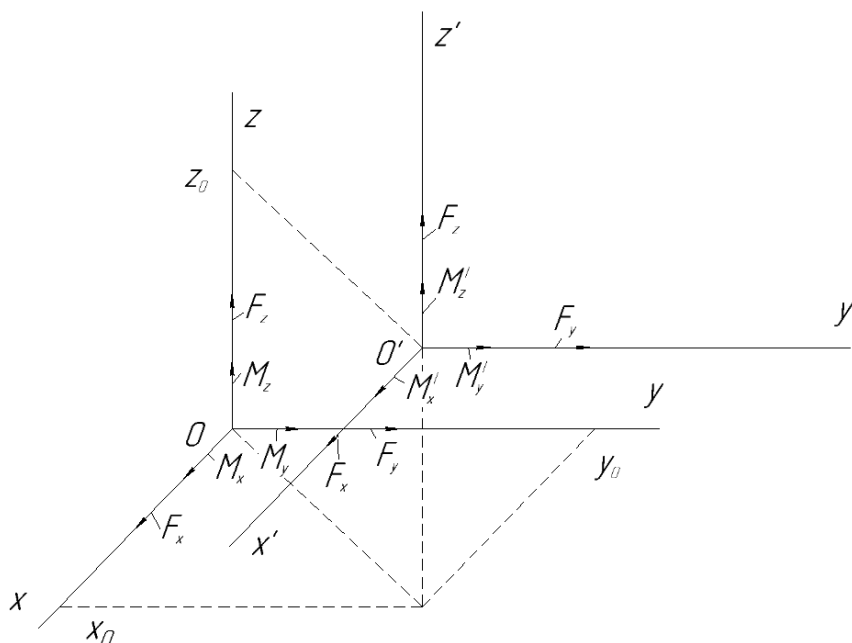


Рисунок 3. Определение центра давления тела

$$M'_x = M_x - F_z y_0 + F_y z_0$$

$$M'_y = M_y - F_x z_0 + F_z x_0 \quad (4)$$

$$M'_z = M_z - F_y x_0 + F_x y_0$$

Положив в системе (4) моменты, относительно системы координат  $O'xyz$  равными нулю, можно определить координаты точки  $O'$ , которая по определению и будет являться центром давления при данных условиях.

### **Библиографический список**

1. Голубев А.Г., Аэродинамика:[учеб.изд.]/А.Г.Голубев; рец. И.И.Липатов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 – 687, [1] с. : ил.