

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ

В науке при изучении нового явления принято исходить из наблюдения. Что мы наблюдаем?

1. На крыло действует подъёмная сила, вызванная повышением давления под крылом и понижением его над ним, которую принято вычислять по формуле, следующей из закона сохранения импульса и из практики:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S \quad (1)$$

2. Зависимость Y от угла атаки спрятана в коэффициенте C_y . Для разных профилей угол атаки нулевой подъёмной силы разный.
3. Наблюдая реальное обтекание профилей, мы начинаем подозревать, что течение не потенциальное, а значит вихревое. Наша задача вычислить этот вихрь.
4. Н.Е.Жуковский его вычислил и показал в своей теореме, что подъёмная сила зависит от циркуляции вихря вокруг крыла:

$$Y = \rho \Gamma V l \quad (2)$$

где Γ – циркуляция, V скорость потока (или крыла), l – размах крыла, ρ – плотность воздуха.

Мы имеем удивительную зависимость. Подъёмная сила есть только тогда, когда есть циркуляция. И если кого-то интересует, как её определить для своего самолёта, то к его услугам формула (2). Если же кто-то хочет решить обратную задачу, а именно вычислить циркуляцию, чтобы посчитать подъёмную силу, то тому придётся поступить в авиационный институт на факультет теоретической аэродинамики. Мы же простенько докажем теорему Жуковского.

Разбираться будем так.

Представим себе летящее крыло единичного размаха. Возьмём гибкую трубку, одним её концом коснёмся верхней поверхности профиля, а другим нижней. Под действием разности давлений ΔP по трубке потечёт воздух со скоростью w (рис.1).

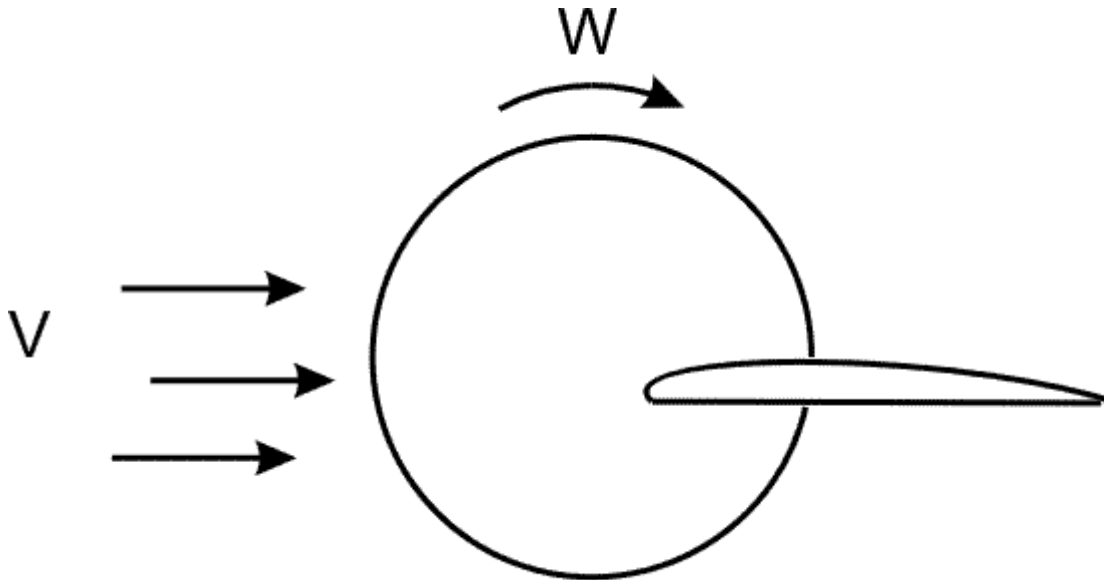


Рис. 1

Пусть площадь поперечного сечения трубки равна s , её длина равна e . Масса воздуха в трубке равна $\rho s e$. Этот воздух за время Δt разгонится до скорости Δw под действием силы $F \Delta t$:

$$P s * \Delta t = \rho s e * \Delta w \quad (3)$$

Выделим отсюда произведение

$$e * \Delta w = \frac{\Delta P}{\rho} * \Delta t \quad (4)$$

Будем удерживать трубку на месте, пока крыло не сместится на длину своей хорды b . Это займёт время $\Delta t = b/V$. Скорость воздуха Δw в трубке будет возрастать и станет равной w . Из (4) получим:

$$ew = \frac{\Delta P}{\rho} * \frac{b}{V} \quad (5)$$

В этой формуле мы должны понимать величину ΔP как среднюю вдоль хорды. Остаётся последний штрих. Вспоминаем, что мы рассматриваем крыло единичного размаха. Если размах равен L , то вместо b в формуле (5) будет площадь крыла bL , а вместо среднего давления ΔP получим подъёмную силу $Y = bL * \Delta P$. Величина ew называется циркуляцией и обозначается буквой Γ :

$$\Gamma = ew = \frac{Y}{\rho VL} \quad (6)$$

И подъёмная сила выражается через циркуляцию Γ , как и установил Н.Е.Жуковский:

$$Y = \rho \Gamma VL \quad (7)$$

Гришаев В.

03.02.2026 г.