

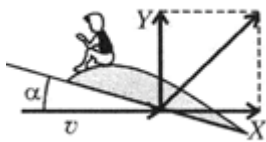


Часть А. Аэродинамическая сила, планирование, полет

На тело, равномерно движущееся в среде (например, крыло самолёта в воздухе), действует аэродинамическая сила F_A . Из общих соображений понятно, что величина этой силы зависит от скорости среды относительно тела v , плотности среды ρ и размера тела L . То есть $F_A = c\rho v^q L^r$, где c — некоторый коэффициент.

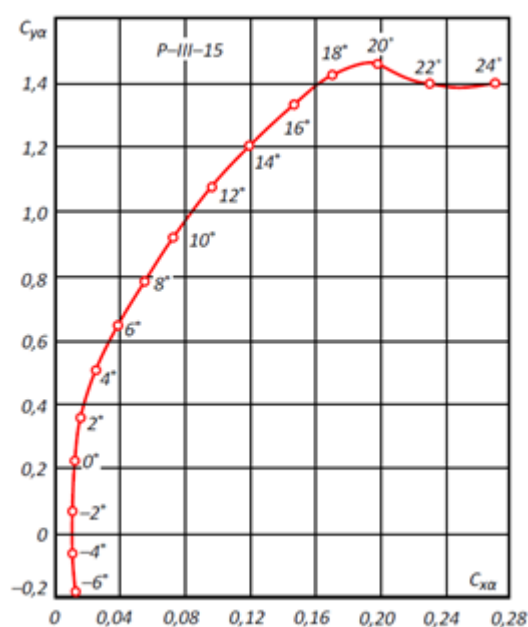
A1^{0.20} Найдите степени p, q, r .

Аэродинамическую силу F_A принято раскладывать на две составляющие: подъёмная сила $Y = c_y \rho v^q L^r$ направлена **перпендикулярно** вектору скорости, сила сопротивления $X = c_x \rho v^q L^r$ направлена **вдоль** вектора скорости (рис. 1). Здесь мы ввели безразмерные коэффициенты: c_y — коэффициент подъёмной силы, c_x — коэффициент сопротивления, которые зависят от формы тела и направления скорости относительно тела.



A2^{0.30} Для некоторого самолёта при горизонтальном полёте оказалось $K = c_y/c_x = 15$. Определите, чему в этом случае равна сила тяги F , направленная горизонтально, если масса самолёта $m = 15$ т, ускорение свободного падения $g = 9.8$ м/с².

Коэффициенты c_x и c_y зависят от угла атаки — угла, между плоскостью крыла и направлением скорости (рис. 1). Эту зависимость можно отобразить на параметрическом графике, где разные точки кривой соответствуют разным углам атаки, а по осям отложены c_x и c_y .



A3^{1.00} С помощью указанного графика (рис. 2), определите, на какое максимальное расстояние S по горизонтали может переместиться самолёт при планировании, если по вертикали он опустится на расстояние $H = 1$ км. При планировании двигатели самолёта выключены, то есть сила тяги равна нулю, а скорость самолета постоянна.

В момент прямолинейного разбега самолёта при взлёте его скорость направлена горизонтально, и на него действует постоянная сила тяги F_T .

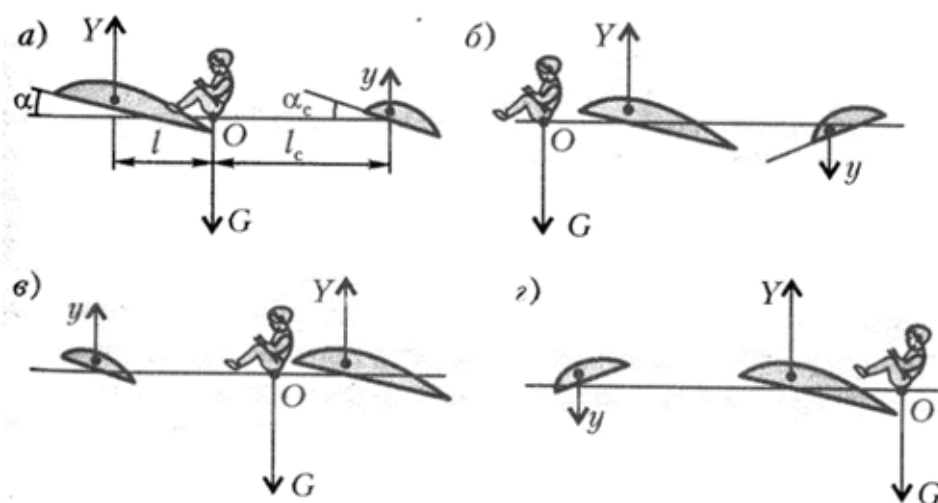
A4^{1.50} Зная, что сила сопротивления $X = c_x \rho v^q L^r = \beta v^q$, найдите, как скорость самолёта v зависит от пройденного расстояния s . Считайте, что в начальный момент скорость равна нулю. Ответ выразите через силу тяги F_T , коэффициент β , массу самолёта m , пройденное расстояние s .

Мощность двигателей самолёта N , аэродинамическое качество $K = c_y/c_x$, массовый расход топлива μ , ускорение свободного падения g , отношение конечной и начальной массы самолёта m_1/m_0 .

A5^{1.50} Определите дальность полёта S .

Часть В. Устойчивость полета

Одного крыла недостаточно для устойчивого и управляемого полёта, используется ещё одна горизонтальная аэродинамическая плоскость: стабилизатор. На пассажирском самолёте это маленькое «крыло» сзади. Возможно 4 принципиальных аэродинамических схемы, которые различаются положением (спереди/сзади) и углом атаки стабилизатора (рис. 3). На рис. 3 показаны положения равновесия при горизонтальном полёте для различных схем.



B1 ^{1.20} Укажите, какие из этих 4 схем будут являться устойчивыми (стремятся сохранить горизонтальное положение), неустойчивыми (самопроизвольно отклоняются от горизонтального положения), безразличными (ни то, ни другое)? Считайте, что $|\alpha_c| = \alpha$, и что силы Y и u линейно зависят от α . Ответ обоснуйте с помощью формул, схем или рисунков.

Часть С. Полет в разреженной атмосфере

Предположим, что летательный аппарат движется высоко (длина свободного пробега молекул намного больше размеров аппарата) и скорость его движения v_1 намного больше тепловых скоростей молекул. Пусть его крыло представляет собой плоскость площадью S с углом атаки α . Угол атаки — угол между плоскостью крыла и скоростью, которая горизонтальна.

C1 ^{1.00} Определите подъёмную силу крыла Y , если плотность окружающей среды ρ . Считайте, что удары молекул абсолютно упругие.

C2 ^{0.50} При каком угле атаки крыла α_M подъемная сила максимальна? Определите это максимальное значение подъемной силы.

Одна из проблем создания воздушно-космического самолёта — защита аппарата от перегрева при спуске в плотных слоях атмосферы. Для решения проблемы используются керамические теплоизоляционные материалы с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0.01 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, плотностью $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$, удельной теплоёмкостью $c = 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Характерное время в течении которого аппарат находится в плотных слоях атмосферы $\tau = 10^3 \text{ с}$.

C3 ^{0.50} Оцените по порядку, чему должна быть равна толщина теплоизоляции h , чтобы температура теплоизоляции (и аппарата) не успела выровняться.

Часть D. Эффект Магнуса

На вращающийся цилиндр, который движется со скоростью $\vec{v}$ в жидкости или газе плотностью ρ действует сила $\vec{F} = 2\pi R^2 L \rho [\vec{\omega} \times \vec{v}]$. Здесь R – радиус цилиндра, L — длина цилиндра, $\vec{\omega}$ — угловая скорость вращения цилиндра. Возникновение этой силы и называется эффектом Магнуса.

В этой части задачи не учитывайте силу сопротивления воздуха, а также считайте, что угловая скорость вращения цилиндра постоянна.

D1 ^{0.30} Найдите модуль и направление скорости цилиндра, при которой он будет двигаться горизонтально без ускорения. Масса цилиндра M . Ускорение свободного падения g .

D2 ^{1.50} Вращающийся цилиндр отпустили в поле тяжести без начальной скорости. Укажите зависимости координат x и y от времени t . Качественно нарисуйте траекторию движения цилиндра.

D3 ^{0.50} Определите максимальную скорость v_{max} центра цилиндра для движения, описанного в D2.