



Приближенный расчет данных для лопасти в процессе цикла раскрытия НВЗТ

Исходные данные:

Скорость включения механизма выпуска

- $V_0 = 360$ км/ч (100 м/с),

Скорость СВВП в момент окончания цикла выпуска

- $V_k = 185$ км/ч (51,4 м/с)

Нормальный градиент торможения горизонтальной скорости СВВП - 0,3g,

Радиус центра тяжести отсека лопасти длиной 1м на угле 45°

- 7,1м,

Масса отсека лопасти

- 9,6 кг

Допущения:

1. Для простоты понимания действия сил на отсек лопасти условно считаем, что составляющая набегающего потока для данного положения лопасти направлена вдоль оси НВЗТ, а основной поток притекает под углом 20° .

2. Предполагаем, что винт первоначально полностью раскрывается в плоскость без нагрузочного угла конуса.

Последовательность расчета:

1. Найдем необходимое полное время цикла раскрытия винта.

Цикл состоит из времени открытия створок с выводом балки пакета лопастей в воздушный поток ($t_1 = 2$ с) и времени, непосредственно затрачиваемого на раскрытие лопастей, которое необходимо определить.

Чтобы пассажиры не ощущали дискомфорта, а конструкция находилась в нормальных нагрузочных условиях, система раскрытия должна обеспечивать режим торможения с градиентом 0,3g. При этом снижение скорости в период вывода балки в поток составит: $V = V_0 - 0,3 * g * t_1 * 3,6 = 360 - 0,3 * 9,81 * 2 * 3,6 = 338,8$ км/ч (94,1 м/с)

Время непосредственного раскрытия лопастей найдется как: $t_2 = (V - V_k) / 0,3g = (94,1 - 51,4) / 0,3g = 14,5$ с.

Полное время цикла выпуска винта: $t = t_1 + t_2 = 2 + 14,5 = 16,5$ с.

2. Определение силы Кориолиса для выбранного положения лопасти:

Из рисунка можно понять, что лопасть в своих крайних положениях по радиусу выпуска (сложенное и выпущенное состояние) имеет нулевую скорость. В то же время центр тяжести выделенного элемента за цикл выпуска ($t_2=14,5$ с) пройдет четверть дуги окружности равную: $L=2\pi R_{\text{цт}}/4=(2*3,14*10)/4=15,7$ м. Эпюра скорости выпуска будет близка к полупериоду синусоиды, со средней скоростью $v_{\text{ср}}=l/t=15,7/14,5=1,083$ м/с.

Максимальная скорость по эпюре на угле 45° приблизительно равна $V_v=1,6$ $v_{\text{ср}}=1,6*1,083=1,73$ м/с.

Среднее ускорение окружной раскрутки винта до скорости конца лопасти 210 м/с: $a=U/t_2=210/14,5=14,48$ м/с²

По радиусу центра тяжести выделенного сегмента $a_{\text{цт}}=(U*(r_i/R)/t_2=210(10/10,5)/14,5=13,8$ м/с².

Особенностью процесса раскрутки в начальный период является то, что поперечная к пересекаемому в окружном направлении воздуху площадь флюгерного положения не интенсивно изменяется примерно до угла 30° (свойство дуги окружности). Поэтому лопасти пересекают воздух в окружном направлении с повышенным сопротивлением, что прямо сказывается на ускорении. В первом приближении можно предположить, что в начальный момент ускорение меньше среднего примерно в три раза и далее изменяется каждую секунду по следующему ряду: 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 10 м/с² (среднее значение по приведенным 15 точкам $13,86$ м/с², что практически равно найденному среднему $13,8$ м/с²).

Тогда через 7,25с окружная скорость центра тяжести выделенного сегмента составит: $U_{\text{ц}}=63$ м/с.

Следовательно, мгновенная угловая скорость центра тяжести отсека лопасти на угле 45° найдется как:

$$\omega = U_{\text{ц}}/r_i = 63/7,1 = 8,87 \text{ 1/с. (что соответствует мгновенному числу 850 об/мин)}$$

Тогда вектор силы Кориолиса, лежащий в плоскости вращения винта и направленный против ее движения найдется как:

$$F_k = 2*m_{\text{отс}}*\omega*V_v \sin 45^\circ = 2*9,6*8,87*1,73*0,707 = 208,3 \text{ Н (21,23 кг)}.$$

2. Определение остальных сил, участвующих в цикле выпуска.

Центробежная сила, действующая на выделенный элемент:

$$N_{\text{ц}} = m_{\text{отс}}*\omega^2*r_i = 9,6*8,87^2*7,1 = 5362,6 \text{ Н (546,6 кг)}$$

Нормальная и радиальная составляющие центробежной силы на угле 45° :

$$N_n = N_p = N_{\text{ц}}*\cos 45^\circ = 5362,6*0,707 = 3791,4 \text{ Н (386,5 кг)}$$

Нормальная скорость обтекания выделенного сегмента, как осевая составляющая набегающего потока:

$$V_n = V_i*\cos 45^\circ = (V_k + (V - V_k)/2)*\cos(45^\circ - 20^\circ)*\cos 45^\circ = (51,4 + (94,4 - 51,4)/2)*0,906*0,707 = 46,6 \text{ м/с}$$

Угол притекания потока к передней кромке лопасти:

$$\beta = \arctg(V_n + V_p)/U_{\text{ц}} = (46,6 + 1,22)/63 = 37^\circ$$

При угле установки профиля 12° в системе складывания и угле положения лопасти по углу разворота вокруг продольной оси 45° , угол атаки профиля относительно вектора притекания потока составит:

$$\alpha = -45^\circ + 12^\circ + 37^\circ = 4^\circ$$

Суммарная скорость притекания потока: $V_c = (V_n + V_p) = (46,6 + 1,22) = 47,8$ м/с

Величина составляющей подъемной силы по оси у: $Y = C_y*p*V_c^2/2*S = 0,8*0,125*47,8^2*0,36 = 82,3$ кг.

Величина составляющей силы сопротивления по оси х: $X = C_x*p*V_c^2/2*S = 0,06*0,125*47,8^2*0,36 = 6,2$ кг.

Угол между аэродинамическими составляющими X и Y: $\eta = \arctg(X/Y) = \arctg(6,2/82,3) = 4,3^\circ$.

Результирующая аэродинамическая сила: $G = (X^2 + Y^2)^{1/2} = (6,2^2 + 82,3^2)^{1/2} = 82,53$ кг.

Величина составляющей аэродинамической силы по оси z: $G_z = G*\cos(4,3^\circ + 45^\circ) = 53,8$ кг.

Величина составляющей аэродинамической силы по оси s: $G_s = G*\sin(4,3^\circ + 45^\circ) = 62,6$ кг.

Итого:

$$\text{Движущая сила по оси z} \quad G_z - F_k = 53,8 - 21,23 = 32,6 \text{ кг}$$

$$\text{Движущая сила по оси s} \quad G_s - N_n = 62,6 - 386,5 = -323,9 \text{ кг}$$

Завершающий этап раскрытия НВЗТ:

1. После прохождения угла раскрытия 45° и при дальнейшем движении к 90° баланс сил быстро изменяется:
2. Сила Кориолиса и нормальная составляющая центробежной силы стремятся к 0.
3. Величина составляющей аэродинамической силы по оси z уменьшается до 0 и далее становится отрицательной силой полного сопротивления профиля.
4. Величина составляющей аэродинамической силы по оси s быстро увеличивается до значения подъемной силы, заданной режимом полета.