



К вопросу физики раскрытия лопастей ВВЗТ

Из физики вращательного движения известно, что одной из важнейших характеристик такого движения является момент инерции J_{x-x} , равный сумме произведений масс частиц тела на квадраты расстояний от оси вращения:

$$J_{x-x} = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2 = \text{СУММА}(m_i r_i^2) \quad (1)$$

Для выделенного отсека лопасти его момент инерции: $J_{x-x} = m r_0^2$

Уравнение динамики вращения отсека лопасти имеет вид:

$$M_x = J_{x-x} E \quad (2)$$

где: M_x - сумма моментов сил, приложенных к отсеку относительно оси вращения;
 E - угловое ускорение отсека.

Из уравнения (2) следует, что если $M_x=0$, то и угловое ускорение $E=0$, т.е. когда вращающий момент обращается в ноль (движущие силы равны силе сопротивления), вращение отсека вокруг оси x-x становится равномерным.

Если M_x является постоянной величиной, то и угловое ускорение:

$E = M_x / J_{x-x} = \text{const}$, т.е. при постоянном по величине вращающем моменте M_x , вращение отсека лопасти вокруг оси x-x будет равнопеременным.

Если же M_x является переменной величиной, то и угловое ускорение

$E = M_x / J_{x-x} = \text{var}$, т.е. при переменном по величине вращающем моменте M_x , вращение отсека лопасти вокруг оси x-x будет ускоренным с изменением значений углового ускорения.

Изменение кинетической энергии отсека лопасти вращающегося равноускоренно вокруг оси x-x, при повороте всего винта на некоторый угол j , равно работе вращающего момента, приложенного к отсеку лопасти, при повороте на тот же угол:

$$J_{x-x} w^2 / 2 - J_{x-x} w_0^2 / 2 = m r^2 w^2 / 2 - m r_0^2 w_0^2 / 2 = m / 2 (r^2 w^2 - r_0^2 w_0^2) = M_x j = A_{x-x} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что для того, чтобы отсек лопасти переместился на более высокий радиус r в плоскости раскрытия s и при этом ускорил свое окружное движение в плоскости z до нового значения угловой скорости w , необходимо затратить определенную работу. При этом мощность полного цикла выпуска винта в целом достигает почти половины мощности, используемой для создания тяги винта.

Сумма моментов сил M_x , приложенных к отсеку относительно оси x-x включает:

$$M_x = M_d + M_t + M_k \quad (4)$$

Здесь момент движения M_d складывается из момента от аэродинамической составляющей $G_t r$ и момента тяговой составляющей концевых сопел $P_t r$:

$$M_d = G_t r + P_t r \quad (5)$$

Момент M_t от касательной инерционной силы F_t , приложенный к отсеку лопасти относительно оси x-x найдется из выражения:

$$M_t = - m E r^2 \quad (6)$$

Момент от силы Кориолиса M_k получим из уравнения:

$$M_k = - F_k r = 2 * m w (V_n \sin \alpha) r \quad (7)$$

Из формулы (7) через нормальную скорость движения отсека лопасти относительно горизонтального шарнира $V_n = V_n \sin \alpha$ можно проследить ее прямую связь с нормальной к лопасти составляющей ускорения центробежной силы $a_{цб}$, действующей на отсек лопасти, относительно ее горизонтального шарнира:

$$a_{цб} = (F_n - G_n r) / m = (m w^2 r \cos \alpha - G_n r) / m \quad (8)$$

где: $F_n = (F_{цбн} - G_n r)$ - нормальная результирующая сила;
 $F_{цбн}$ - нормальная составляющая центробежной силы;
 G_n - нормальная составляющая аэродинамических сил.

Чем выше это ускорение, тем больше нормальная скорость движения отсека лопасти относительно горизонтального шарнира V_n , которая входит в формулу силы Кориолиса. Следовательно, тем выше прирост самой силы Кориолиса, тормозящей отсек лопасти в окружном движении до выравнивания баланса сил. В свою очередь

торможение отсека снижает центробежную силу относительно оси х-х и приводит ее в соответствие с динамикой изменения сил раскрытия.

Если мы теперь запишем формулу для работы центробежной силы при перемещении массы отсека лопасти m с радиуса r_0 на радиус r , то получим выражение вида:

$$A_{ц} = F_{ц} (r - r_0) = m w_0^2 r_0 \cos \alpha (r - r_0) \quad (9)$$

Сравнивая работу, найденную по изменению кинетической энергии вращения массы отсека (3) с работой центробежной силы, действующей на отсек лопасти нормально к ее поверхности (9), находим, что работа центробежной силы (9) не влияет на увеличение угловой скорости вращения винта, но перемещение в результате этой работы массы отсека m с меньшего радиуса r_0 на больший r приведет (по закону сохранения момента импульса) к торможению отсека за счет рассмотренной нами силы Кориолиса. То есть работа центробежной силы является для системы отрицательной, увеличивающей затраты на раскрытие винта.

По абсолютной величине она всегда меньше работы, найденной через подсчет изменения кинетической энергии лопастей (3), которая пропорциональна квадрату изменяющихся радиусов. Иными словами, перемещения отсека в радиальном направлении от действия на него центробежной силы будут происходить только после того как момент движущих сил M_d преодолеет вызванный ею момент Кориолисовой силы M_k и момент M_t от касательной инерционной силы F_t .

В связи с данным выводом истеричные заявления о том, что центробежные силы отсека лопасти и других ее частей начнут изгибать и ломать лопасть, рубить фюзеляж и т.п., с точки зрения физики происходящих процессов являются не обоснованными.

Важно!!!

Потребная работа ускоренной раскрутки лопастей всегда значительно больше отрицательной работы центробежной силы на одноименных участках перемещения массы отсека по радиусу, соединяющему его центр тяжести с осью вращения х-х.