

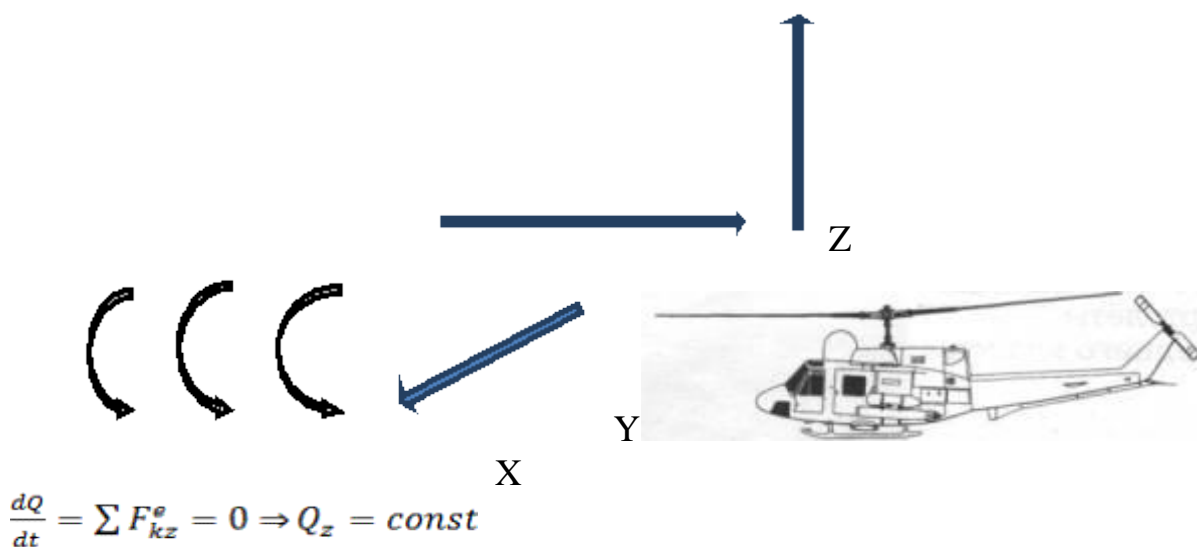
Д. И. Асташонок, К. Э. Пашкевич, Ю. А. Гурвич

Белорусский национальный технический университет, Минск.

Законы сохранения количества движения и кинетического момента системы применительно к вертолету

Вертолёт – винтокрылый летательный аппарат, у которого необходимая для полета подъёмная сила и тяга создаются одним или несколькими несущими винтами, приводящимися во вращение двигателем посредством специального механизма привода. С точки зрения законов механики и аэродинамики он представляет достаточно сложный летательный аппарат, так как может без разбега совершать вертикальный подъем, зависать на одном месте, перемещаться в любом направлении. Такие особенности полета обеспечиваются не только одним или несколькими несущими винтами, но и наличием рулевого винта или других конструктивных особенностей.

Вертикальный взлёт обеспечивается подъемной силой, возникающей при вращении несущего винта вследствие обтекания воздухом лопастей винта. Кроме этого при вращении винта он сообщает некоторой массе воздуха движение вдоль оси винта, отбрасывая эту массу вниз. Если рассматривать отбрасываемую массу и вертолет как одну механическую систему, то силы взаимодействия винта и воздуха как внутренние не могут изменить суммарное количество движения этой системы; внешние силы (вес и подъемная сила) уравновешены. В этом случае вступает в силу закон сохранения количества движения системы (ось z направлена по вертикали вверх).



(1)

Поэтому при отбрасывании массы воздуха вниз вертолёт получает собственную скорость движения вверх, такую чтобы общее количество движения Q_z системы было равным нулю, так как оно до начала движения было равно нулю. В свою очередь установленный на вертолете несущий винт не только отбрасывает воздух вниз, но и сообщает отбрасываемой массе вращение. Суммарный момент количества движения (кинетический момент) отбрасываемой массы воздуха и вертолета должен остаться равным нулю, так как система в начале была неподвижна, а при взлете внешние силы, сила тяжести и подъемная сила не создают момент относительно вертикальной оси, т.е в этом случае вступает в силу закон сохранения момента количества движения,

$$\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(F_k^e) = 0 \Rightarrow L_z = const \quad (2)$$

Так как кинетический момент винта и вращающейся массы воздуха

$$L_{1z1} = L_{1z1} \omega_1 \neq 0. \quad (3)$$

то вертолет может вращаться в сторону, противоположную направлению вращения винта с некоторой угловой скоростью такой чтобы, суммарный кинетический момент системы был равен нулю. Действующий при этом на фюзеляж вертолета вращающий момент называют реактивным моментом. Чтобы предотвратить реактивное вращение корпуса вертолета применяются различные способы компенсации этого крутящего момента. В соответствии с этим различаются различные схемы вертолетов.

Z_2

Z_1 в) d

ω_1

Обычно используется дополнительный вертикальный рулевой винт (схема с рулевым винтом)(рис 1 в). Поскольку ЛА такой схемы появились первыми, такая схема называется классической.

в) б) z

ω_1

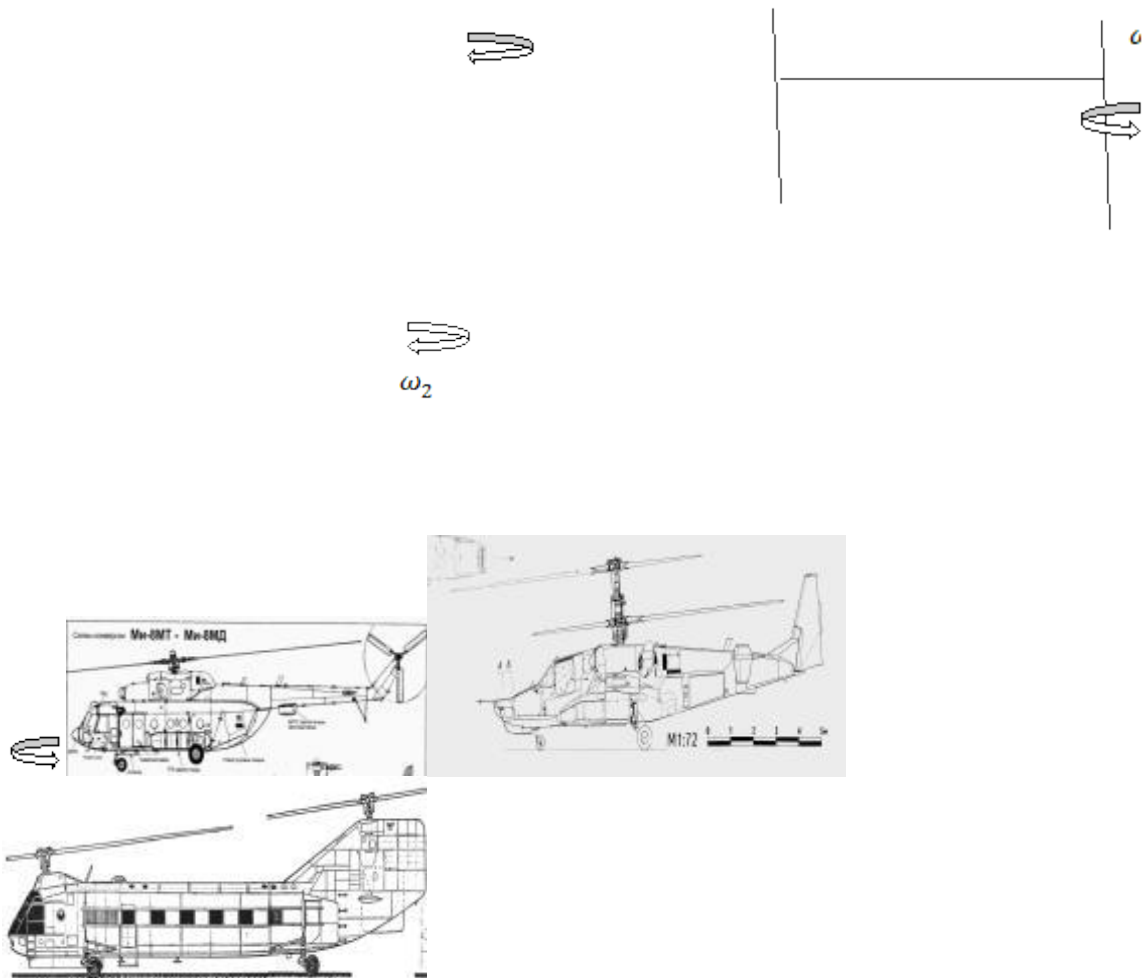


Рисунок 1

Определим с какой угловой скоростью относительно корпуса вертолета должен вращаться хвостовой винт, чтобы компенсировать вращающий

$$\omega_k = 0$$

момент, т.е. чтобы . Суммарный кинетический момент системы

$$L_z = L_{1z1} + L_{kz1} + L_{2z2} = 0$$

относительно оси z , , так как система в начале была неподвижна, а в соответствии с законом сохранения кинетического

$$L_z = const.$$

момента Кинетический момент L_{kz} корпуса по условию должен быть равным нулю (корпус не должен вращаться). Тогда $L_{1z1} = -L_{2z2}$, т.е. хвостовой винт должен вращаться в противоположную сторону, но при отсутствии вращения этого винта корпус будет вращаться с угловой скоростью ω_k , противоположной угловой скоростью ω_1 несущего винта.

Кинетический момент системы при вращающемся хвостовом винте с угловой скоростью ω_2 такой, чтобы $\omega_k = 0$, определится из условия

$$L_z = I_{2z}\omega_2 - I_{1z}\omega_1 = 0 \quad \omega_2 = \frac{I_1}{I_{1z}}\omega_1$$

$$\Rightarrow \quad , \quad (4)$$

$$I_{1z1}$$

где I_{1z1} – момент инерции хвостового винта относительно оси вращения этого

$$I_{2z2} < I_{1z1} \quad \omega_2 > \omega_1$$

винта. Так как $I_{2z2} < I_{1z1}$, то $\omega_2 > \omega_1$, т.е хвостовой винт должен вращаться с большей угловой скоростью, чем несущий винт. При условии, что хвостовой винт по какой-то причине остановится, то вертолет, как указывалось выше,

$$\omega_k$$

будет вращаться вокруг оси z с некоторой угловой скоростью ω_k , определяемой из равенства кинетических моментов несущего винта и корпуса вертолета, и равной

$$\omega_k = \frac{I_{1z1} \cdot \omega_1}{I_{kz1} + I_{2z2} + m_2 d^2} \quad (5)$$

$$I_{kz1}$$

где I_{kz1} – момент инерции корпуса вертолета относительно оси z;

m – масса хвостового винта.

Другим вариантом компенсации реактивного момента является два несущих винта, вращающихся в противоположных направлениях на одной оси (соосная схема). Второй винт называется аэродинамическим симметричным соосным несущим винтом (рис 1 б). Этот вариант использован, например, в российском вертолете КА-50. В этом случае для компенсации реактивного момента винты должны вращаться в противоположные стороны с одинаковыми угловыми скоростями, при условии, что их моменты инерции равны. В некоторых конструкциях вертолетов (рис 1 а) хвостовой винт устанавливается на горизонтальной оси. В этом случае при вращении этого винта со стороны воздуха действует на винт сила, которая создаёт момент относительно оси вращения несущего винта. Этот момент компенсирует действие реактивного момента, при этом хвостовой винт устанавливается со стороны фюзеляжа так, чтобы действовала на корпус противоположно действию реактивного момента.