

Влияние упругости торсионного крепления на дифференциальное уравнение равновесия вращающейся лопасти несущего винта вертолета в плоскости взмаха

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрено влияние упругости торсионного крепления несущего винта вертолета на дифференциальное уравнение равновесия вращающейся лопасти в плоскости взмаха. Получено уравнение, в котором учитывается упругость торсионного крепления лопасти несущего винта.

Ключевые слова: несущий винт вертолета, лопасть, торсионное крепление.

В последние годы развитие вертолетостроения во многом связано с введением в конструкцию вертолетов ряда усовершенствований, уменьшающих трудоемкость, вес и упрощающих обслуживание при эксплуатации. Широкое применение композиционных материалов и титановых сплавов обусловило качественное изменение конструкций. Особенно много усовершенствований внесено в конструкцию несущих винтов (НВ) и прежде всего их втулок, для которых предложен и осуществлен на практике ряд принципиально новых схем [1, 2, 3].

В настоящее время на вертолетах широко применяется торсионная подвеска лопастей (рис. 1). Изменение конструкции втулок НВ привело к изменению способов крепления и упруго-массовых характеристик лопастей, что вызывает изменение динамических и флаттерных характеристик НВ.

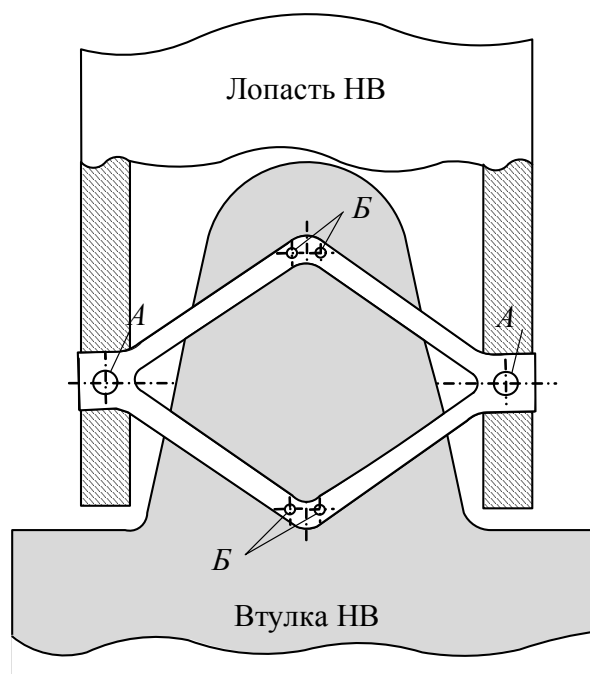


Рис. 1. Универсальный пластинчатый торсион подвески лопасти НВ: А – отверстие для крепления лопастей; Б – отверстие для крепления торсиона на корпусе втулки

Поскольку такой характер закрепления лопастей обуславливает появление дополнительных упругих сил в подвеске лопастей, что вызывает изменение диф-

ференциальных уравнений нагружения лопастей и, следовательно, изменение расчетных формул по определению критических оборотов НВ по флаттеру [1, 4].

Данное исследование посвящено методам расчета махового флаттера НВ вертолета с торсионной подвеской лопастей. Маховый флаттер НВ – наиболее часто встречающийся вид флаттера с наименьшей частотой вращения и наиболее опасный. Он характерен тем, что взаимодействуют взмах лопасти на угол β относительно горизонтального шарнира (ГШ) как абсолютно твердого тела лопасти и поворот лопасти относительно осевого шарнира (ОШ) на угол φ тоже как абсолютно твердого тела. При этом пренебрегают упругими деформациями изгиба и кручения ввиду их малости по сравнению с указанными перемещениями.

Замена шарниров крепления лопастей НВ влечет за собой появление упругих сил в месте крепления лопастей – торсионах. Эти упругие силы действуют против угловых перемещений β (угла взмаха) и φ (угла установки) лопасти. Торсионы для обеспечения долговечности работают только в пределах упругости. В таком случае упругий момент, создаваемый торсионом относительно горизонтальной оси M_β , равен [2, 5, 6]:

$$M_\beta = \beta C_\beta, \quad (1)$$

где C_β – жесткость торсиона на изгиб.

Жесткость торсиона на изгиб может быть определена следующим образом [2]:

$$C_\beta = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{\beta_i}}}, \quad (2)$$

где C_{β_i} – жесткость на изгиб i -й пластины торсиона; n – количество пластин торсиона.

Аналогично упругий момент торсиона относительно ОШ

$$M_\varphi = \varphi C_\varphi, \quad (3)$$

где жесткость торсиона на кручение равна [2, 5, 6]:

$$C_\varphi = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_{\varphi_i}}}. \quad (4)$$

В этом выражении C_{φ_i} – жесткость i -й пластины торсиона на кручение; n – количество пластин торсиона.

Торсион уменьшает амплитуду колебаний по величине, т.е. демпфирует их. Это положительно влияет на флаттерные характеристики – увеличивает критические обороты НВ на флаттер $n_{кр}$.

Таким образом, в уравнение моментов относительно ГШ [1] добавляется момент M_β (1) в левую часть:

$$\int_{r_0}^R m(r\ddot{\beta} - \sigma\ddot{\varphi})rdr + \omega^2 \int_{r_0}^R m(r\beta - \sigma\varphi)rdr + \beta C_\beta = \int_{r_0}^R Trdr, \quad (5)$$

где $\int_{r_0}^R mr^2 dr = I_{гш}$ – массовый момент инерции лопасти относительно горизонтального шарнира (ГШ); $\int_{r_0}^R mr \sigma dr = I_{цб}$ – массовый центробежный момент инерции лопасти относительно ОШ и ГШ; σ – расстояние от оси ОШ до центра тяжести элемента лопасти; r – расстояние от ГШ до элемента лопасти; $m(r)$ – погонная масса лопасти; ω – угловая скорость вращения НВ, R – радиус НВ.

В уравнение (5) введем величины $I_{гш}$, $I_{цб}$ и обе части разделим на $I_{гш}$.

$$\ddot{\beta} + \beta\left(\omega^2 + \frac{C_\beta}{I_{гш}}\right) - \frac{I_{цб}}{I_{гш}}(\ddot{\varphi} + \omega^2\varphi) = \frac{1}{I_{гш}} \int_{r_0}^R Trdr \quad (6)$$

Во втором слагаемом появился дополнительный член с C_β .

В правую часть уравнения (6) подставим выражение для T [1]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{I_{гш}} \int_{r_0}^R Tr dr = \varphi\omega^2 \frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{гш}} \int_{r_0}^R br^3 dr + \omega^2 R \frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{гш}} \int_{r_0}^R br^2 \lambda dr - \\ - \omega\dot{\beta} \frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{гш}} \int_{r_0}^R br^3 dr + \omega\varphi \frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{гш}} \int_{r_0}^R \left(0.75 - \frac{x_0}{b}\right) br^2 dr \end{aligned}, \quad (7)$$

где $b(r)$ – хорда лопасти; C_y^α – производная C_y по α для лопасти НВ; ρ – плотность воздуха на высоте полета; λ – относительная скорость протекания потока воздуха через НВ; x_0 – расстояние от передней кромки до оси ОШ.

Определения $I_{гш}$ и $I_{цб}$ даны с учетом терминологии, принятой при расчете шарнирной лопасти. Для торсионной лопасти правильно было бы вместо $I_{гш}$ писать $I_{взм}$ – массовый момент инерции взмаха лопасти относительно оси крепления лопасти к торсиону.

Для сокращения записи введем следующие обозначения [1]:

$$d_{11} = \frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{zш}} \int_{r_0}^R br^3 dr; \quad (8)$$

$$d_{12} = -\frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{zш}} \int_{r_0}^R b^2 r^2 \left(0.75 - \frac{x_0}{b}\right) dr. \quad (9)$$

Все составляющие правой части выражения (6) с неизвестными параметрами β и φ перенесём в левую часть, в правой части остается только слагаемое

$$R\omega^2 \frac{C_y^\alpha}{2I_{zш}} \int_{r_0}^R br^2 \lambda dr \quad (10)$$

В левой части уравнения (6) выполним приведение подобных членов, введём дополнительные коэффициенты [1]:

$$c_{12} = -\frac{I_{y\bar{b}}}{I_{zш}} = i_0 c_{21}; \quad (11)$$

$$i_0 = \frac{I_{oш}}{I_{zш}}; \quad (12)$$

$$b_{12} = -\frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{zш}} \int_{r_0}^R br^3 dr + c_{12} = -d_{11} + c_{12}. \quad (13)$$

В результате всех преобразований получим дифференциальное уравнение равновесия моментов относительно ГШ:

$$\ddot{\beta} + d_{11}\dot{\beta}\omega + \beta\left(\omega^2 + \frac{C_\beta}{I_{zш}}\right) + c_{12}\ddot{\varphi} + d_{12}\dot{\varphi}\omega + b_{12}\varphi\omega^2 = R\omega^2 \frac{C_y^\alpha \rho}{2I_{zш}} \int_{r_0}^R br^2 \lambda dr. \quad (14)$$

В этом уравнении третье слагаемое отличается от третьего слагаемого в таком же уравнении в [1] присутствием члена с величиной C_β .

В дальнейшем необходимо рассмотреть влияние торсионного крепления на дифференциальное уравнение равновесия относительно оси жесткости лопасти.

Список литературы

1. Миль, М. Л. Вертолеты. Расчет и проектирование [Текст] / М. Л. Миль, А. В. Некрасов, А. С. Браверман; под редакцией М.Л. Милья. – М. : Машиностроение, 1966. – Ч.1 : Аэродинамика. – 457 с.
2. Туркина, А. И. Расчет на прочность винтов современных вертолетов [Текст]: учеб. пособие / А. И. Туркина;; под ред. проф. Р. А. Михеева. – М. : МАИ, 1990, 32 с.
3. Михеев, Р.А. Прочность вертолетов [Текст]: учеб. для авиац. вузов / Р.А. Михеев. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
4. Пейн, П. Р. Динамика и аэродинамика вертолета [Текст] / П. Р. Пейн. – М. : Оборонгиз, 1963. – 492 с.
5. Прибытков, Б. М. Выбор параметров эластомерных подшипников винтов вертолетов. Оптимизация параметров и конструктивных решений при проектировании транспортных вертолетов [Текст] / Б.М. Прибытков // Тр. МАИ. – М. : 1983. – С. 47 – 57.
6. Лавендея, Э. Э. Расчет жесткости сжатия тонкостенных резинометаллических элементов [Текст] / Э. Э. Лавендея, М. А. Лейканд, В. А. Хричикова // Вопросы динамики и прочности. – Вып. 38. – Рига, 1981. – С. 57 – 63.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Дружинин Е. А., Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 27.11.14

Вплив торсіонного кріплення на диференціальне рівняння рівноваги лопаті несучого гвинта вертольота, яка обертається, в площині помаху

Розглянуто вплив пружності торсіонного кріплення несучого гвинта вертольота на диференціальне рівняння рівноваги лопаті, яка обертається, в площині помаху. Отримано рівняння враховує пружність торсіонного кріплення лопаті несучого гвинта.

Ключові слова: несучий гвинт вертольота, лопать, торсіонне кріплення.

Influence of elasticity torsion mounting on differential equation of equilibrium of rotating rotor blade of the helicopter in the wag plane

There was considered the influence of the elasticity torsion mounting a helicopter rotor on the differential equilibrium for rotating blade in the plane wag. The article gives the equation which takes into account the elasticity of the torsion mounting for the rotor blades.

Keywords: helicopter rotor, blade, torsion mounting.