

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гирфанов А.М. Аэроупругий расчет и балансировка одновинтового вертолета с бесшарнирным несущим винтом

//Дисс. – Казань, 1999.

2. Лисс А.Ю. Исследования работы лопастей несущего винта с учетом изгиба в двух плоскостях и кручения //Дисс. – Казань, 1974.

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕРТОЛЕТА ПРИ РАСКРУТКЕ НЕСУЩЕГО ВИНТА НА ЗЕМЛЕ

© 2012 Е.И. Николаев, К.Н.Пантюхин

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ - КАИ), Казань

## ANALYSIS OF STABILITY HELICOPTER BY ROTOR STARTING ON THE GROUND

© 2012 E.I.Nikolaev, K.N.Pantuhin

Stable of motion a single rotor helicopter on the ground is investigating. It has six degree of freedom fuselage and flapping motion of blades.

В работе рассматривается устойчивость движения лопастей при раскрутке несущего винта на земле, что может привести к так называемому явлению земного резонанса. Это явление появилось, когда в конструкции втулки винтов вертолетов начали использовать шарнирное соединение лопасти, в основном вертикальным шарниром, который позволяет лопасти качаться в плоскости вращения винта, и тем самым происходит динамический разбаланс лопастей. В подавляющем большинстве случаев при возникновении земного резонанса колебания прекратить не удавалось. Они нарастали вплоть до разрушения вертолета. Лишь в редких случаях колебания удавалось прекратить своевременным выключением двигателя или отрывом вертолета от земли. В истории вертолетостроения было немало случаев, когда вертолет разрушался от возникновения колебаний такого типа. Попытки устранить земной резонанс на готовом вертолете иногда приводили к необходимости больших переделок конструкций вертолета. Эти обстоятельства

заставляют инженеров работать над созданием теории и надежного метода расчета явления земного резонанса, которые позволили бы грамотно выбирать характеристики элементов конструкции, определяющих запас устойчивости вертолета на земле на этапе проектирования.

Работы А.Файнгольда, Р.Колмена, Б.Я.Жеребцова, М.А.Лернера, А.И.Пожалостина и других исследователей, которые рассматривали явление земного резонанса, внесли большой вклад в развитие теории устойчивости вертолета при явлении земного резонанса.

В работе представлено возмущенное движение однороторного вертолета, корпус которого имеет шесть степеней свободы и лопасти имеют вертикальные, горизонтальные и осевые шарниры.

Дифференциальные уравнения возмущенного движения вертолета для этого случая выводились при следующих предположениях:

1. Лопасты абсолютно жесткие;
2. Тяга несущего винта равна нулю;

3. Угловая скорость вращения винта постоянна;

Для анализа устойчивости движения описываемого системой уравнений раскладываем периодические параметры перемещения вертолета  $x, y, z, \theta, \varphi, \vartheta$  и лопасти  $\gamma, \beta$  в ряд Фурье. Подставив их в уравнение движения вертолета, получим векторное уравнение с неизвестными коэффициентами  $a_{i,n}$  и  $b_{i,n}$ :

$$\{F_i(a_{i,n}, b_{i,n})\} = 0, i = \overline{1, k}, n = \overline{1, N}.$$

Каждое  $i$ -ое уравнение как действительная периодическая функция с периодом  $T$  разлагается в ряд Фурье следующего вида:

$$F_i(t) = \frac{1}{2} z z_{i,0} + \sum_{n=1}^{n_k} (z c_{i,n} \cos(n \cdot \omega \cdot t) + z s_{i,n} \sin(n \cdot \omega \cdot t)) = 0$$

где

$$z z_{i,0} = \frac{\omega}{\pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} F_i dt = 0;$$

$$z c_{i,n} = \frac{\omega}{\pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} F_i \cdot \cos(\omega \cdot t) dt = 0;$$

$$z s_{i,n} = \frac{\omega}{\pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} F_i \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = 0,$$

тогда систему уравнений движения можно представить в следующем общем виде:

$$\{z_i\} = [z_{i,0}, z c_{i,1}, z s_{i,1}, \dots, z c_{i,n}, z s_{i,n}]^T.$$

Получив тем самым систему уравнений относительно коэффициентов ряда Фурье, которую можно представить в матричном виде:

$$[A] \begin{Bmatrix} a_{i,n} \\ b_{i,n} \end{Bmatrix} = 0,$$

где исследование на собственные числа матрицы  $[A]$  покажет зоны не устойчивого движения.

После проведения расчетов получены следующие результаты:

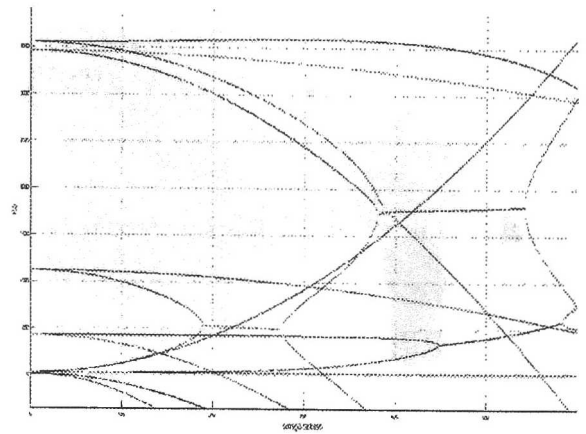


Рис.1. Собственные значения действительной части матрица  $[A]$  от частоты вращения несущего винта.

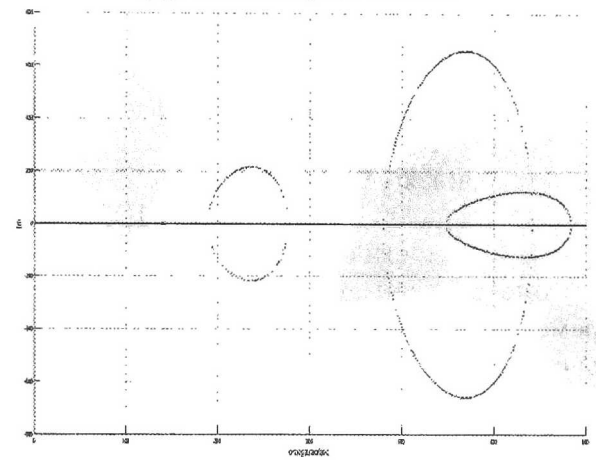


Рис.2. Собственные значения мнимой части матрица  $[A]$  от частоты вращения несущего винта.

На рисунке 1 и 2 отчетливо видны области неустойчивости при определенной частоте вращения несущего винта. Возникновения, которых, обусловлены совпадением частоты колебания лопасти с частотой фюзеляжа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труды ЦАГИ им. проф. Жуковского, выпуск 1087. Земной резонанс вертолетов, Москва, 1970г.
2. М.М.Ильин, К.С. Колесников, Ю.С. Саратов. Теория колебаний, Москва, 2003г.
3. В.Аладьев, М.Богдьявичюс. Решение математических, статистических и инженерно-физических задач, Москва, 2001г.