

УДК 677.052.48

**РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ РОТОРА
НА ШАРИКОВЫХ ОПОРАХ ПНЕВМОПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН**

**CALCULATION OF CRITICAL SPEED OF THE ROTOR
ON BALL SUPPORT OF PNEUMOSPINNING MACHINES**

С.М. БЕЛИНИС, А.С. ЖДАНОВ, П.Г. БЕЛИНИС
S.M. BELINIS, A.S. ZHDANOV, P.G. BELINIS

(Димитровградский инженерно-технологический институт –
филиал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ")
(Dimitrovgrad Institute of Industrial Engineering Branch National Research Nuclear University "MEPhI")
E-mail: diti@mephi.ru, <http://diti-mephi.ru>

Получено решение определения критических скоростей ротора в виде балки на двух опорах с двумя консольными участками и сосредоточенной массой на конце с эксцентриситетом по уравнению А.Н. Крылова. Для решения частотного определителя составлена программа для ЭВМ.

The solution of determination of critical speeds of a rotor in the form of a beam on two support with two console sites and the concentrated weight on the end with eccentricity on A.N. Krylov's equation is received. For the solution of frequency determinant the computer program is made.

Ключевые слова: критическая частота вращения, интеграл А.Н. Крылова, граничные условия, частотный определитель, дорезонансный и зарезонансный режимы.

Keywords: the critical speed, the integral A.N. Krylov, boundary conditions, determinant of the frequency, below resonance and after resonance modes.

Представим ротор пневмопрядильной машины для волокон хлопка в виде балки с интенсивностью распределенной массы балки m_1 на двух опорах с двумя консольными участками и сосредоточенной массой m на конце с величиной эксцентриситета e (рис. 1 – расчетная схема по методу А.Н. Крылова) [1].

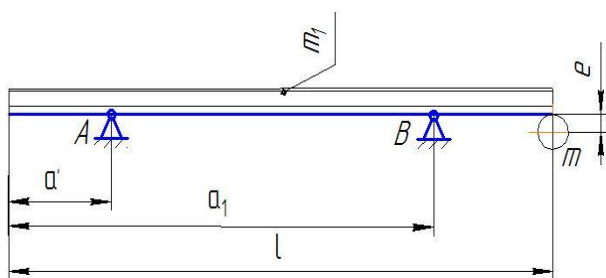


Рис. 1

Для описания первого участка $0 < x < a$ используем граничные условия. Нулю равны поперечные силы и изгибающий момент. Поэтому при $x = 0$ вторая и тре-

тья производные равны нулю, то есть $y_1'' = 0$ и $y_1''' = 0$, и постоянные, определяемые граничными условиями, C и D равны нулю. Общее решение примет вид:

$$y_1(x) = AS(kx) + BT(kx). \quad (1)$$

Для описания второго участка необходимо учесть величину реакции в опоре с координатой $x = a$:

$$y_2(x) = AS(kx) + BT(kx) + \frac{R_1}{k^3 EJ} V[k(x - a)], \quad (2)$$

где третье слагаемое является опорной реакцией, называется интегралом А.Н.Крылова.

Для описания третьего участка необходимо учесть величину реакции в опоре с координатой $x = a_1$:

$$y_3(x) = AS(kx) + BT(kx) + \frac{R_1}{k^3 EJ} V[k(x - a)] + \frac{R_2}{k^3 EJ} V[k(x - a_1)]. \quad (3)$$

Для определения произвольных постоянных A , B и величин опорных реакций R_1 , R_2 используются граничные условия.

Исходим из начальных условий на правом конце вала и в опорах.

При $x = a_1$, $y_2 = 0$:

$$y_2 = AS(ka_1) + BT(ka_1) + \frac{R_1}{k^3 EJ} V[k(a_1 - a)] = 0. \quad (5)$$

При $x = l$, $y_3'' = 0$:

$$y_3'' = k^2 [AU(kl) + BV(kl) + \frac{R_1}{k^3 EJ} T[k(l - a)] + \frac{R_2}{k^3 EJ} T[k(l - a_1)]] = 0. \quad (6)$$

При $x = a$, $y_1 = 0$:

$$y_1 = AS(ka) + BT(ka) = 0. \quad (4)$$

Для правого конца центробежная сила от массы m будет равна:

$$P = m\omega^2(y_3 + e), \quad (7)$$

$$P = EJy_3'''. \quad (8)$$

Приравнявая уравнения (7) и (8), получаем:

$$EJy_3''' = m\omega^2(y_3 + e). \quad (9)$$

Подставляя значения y_3 и y_3''' , получим:

$$\begin{aligned} & EJk^3[AT(kx) + BU(kx) + \frac{R_1}{k^3EJ}S[k(x-a) + \frac{R_2}{k^3EJ}S[k(x-a_1)]] = \\ & = m\omega^2[e + AS(kx) + BT(kx) + \frac{R_1}{k^3EJ}V[k(x-a)] + \frac{R_2}{k^3EJ}V[k(x-a_1)]]. \end{aligned} \quad (10)$$

Обозначим $\omega = \omega_{кр}$ и $M = \frac{m\omega_{кр}^2}{EJk^3} = \frac{m}{m_1}k$. (11)

Сгруппируем слагаемые относительно A, B, R_1, R_2 и введем $x = \ell$:

$$\begin{aligned} & A[T(k\ell) - MS(k\ell)] + B[U(k\ell) - MT(k\ell)] + \frac{R_1}{k^3EJ}[S[k(\ell-a)] - MV[k(\ell-a)]] + \\ & + \frac{R_2}{k^3EJ}[S[k(\ell-a_1)] - MV[k(\ell-a_1)]] = Me. \end{aligned} \quad (12)$$

Составим частотный определитель из

уравнений (4), (5), (6), (12):

$$\Delta(k\ell) = \begin{vmatrix} S(ka) & T(ka) & 0 & 0 \\ S(ka_1) & T(ka_1) & V[k(a-a_1)] & 0 \\ U(k\ell) & V(k\ell) & T[k(\ell-a)] & T[k(\ell-a_1)] \\ T(k\ell) - MS(k\ell) & U(k\ell) - MT(k\ell) & S[k(\ell-a) - MV[k(\ell-a)]] & S[k(\ell-a_1) - MV[k(\ell-a_1)]] \end{vmatrix}.$$

Для нахождения корней ($k\ell$) для ротора необходимо частотный определитель приравнять нулю. В результате найдем бесконечное число корней ($k_i\ell$), а следовательно, и критических скоростей. На практике достаточно определить две или три критические скорости.

Значение критической скорости определяем из формулы (11):

$$\omega_{кри} = (k_i\ell)^2 \sqrt{\frac{EJ}{m_1}}. \quad (13)$$

Подставляя значения ($k_i\ell$) в формулу (13), получаем значения критических скоростей.

С помощью программ, написанных на языке C#, определены первая и вторая критические частоты ротора [2], [3]. На рис. 2 (изображение программы) представлены

результаты расчета. По методу А.Н. Крылова $n_{кр1} = 95767 \text{ мин}^{-1}$, $n_{кр2} = 703010 \text{ мин}^{-1}$.

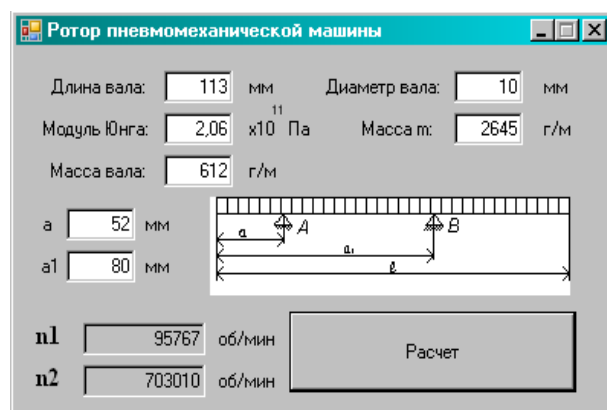


Рис. 2

Для нормальной работы ротора должно соблюдаться следующее условие:

– в дорезонансном режиме

$$n_p < 0,7 n_{кр1}, \quad (14)$$

– в резонансном режиме

$$1,4 n_{кр1} < n_p < 0,7 n_{кр2}, \quad (15)$$

где n_p – рабочая частота ротора; $n_{кр1}$ – первая критическая частота ротора; $n_{кр2}$ – вторая критическая частота ротора.

Определим зоны работы ротора:

– в дорезонансном режиме

$$n_p < 0,7 \cdot 95767 \text{ мин}^{-1},$$

$$n_p < 67036 \text{ мин}^{-1},$$

в резонансном режиме

$$1,4 n_{кр1} < n_p,$$

$$1,4 \cdot 95767 < n_p; n_p \geq 133000 \text{ мин}^{-1}.$$

ВЫВОДЫ

1. Решена задача по составлению матрицы для определения критических частот ротора по методу А.Н. Крылова.

2. Составлена программа на языке С#, позволяющая определить критические частоты вращения ротора.

3. Рабочую частоту вращения ротора можно повысить до 67036 мин^{-1} , не попа-

дая в зону резонанса, или работать в резонансном режиме свыше 133000 мин^{-1} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1976.

2. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007611940. Определение критической скорости ротора пневмомеханической машины по методу Крылова / Белинис С.М., Левин Е.С. – Пост. 27.03.2007. Зарегистрировано 14.05.2007.

3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007612583. Программа расчета второй критической скорости ротора методом Крылова / Белинис С.М., Левин Е.С. – Пост. 27.04.2007. Зарегистрировано 19.06.2007.

REFERENCES

1. Panovko Ja.G. Osnovy prikladnoj teorii kolebanij i udara. – Izd. 3-e, pererab. i dop. – L.: Mashinostroenie, 1976.

2. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2007611940. Opredelenie kriticheskoj skorosti rotora pnevmomehanicheskoj mashiny po metodu Krylova / Belinis S.M., Levin E.S. – Post. 27.03.2007. Zaregistrirvano 14.05.2007.

3. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM № 2007612583. Programma rascheta vtoroj kriticheskoj skorosti rotora metodom Krylova / Belinis S.M., Levin E.S. – Post. 27.04.2007. Zaregistrirvano 19.06.2007.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения и машин и аппаратов. Поступила 06.04.16.