

УДК 678.5

І. Луців, д-р. техн. наук., проф., Ю Наконечний, І. Ярема, канд. техн. наук., доц. Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНОЇ ЧАСТОТИ КРУТНИХ КОЛИВАНЬ ПЛАСТМАСОВИХ ЛОПАТОК ПУСКОВИХ ТУРБОДЕТАНДЕРІВ

I. Lutsiv, Dr., Assoc. Prof., Y. Nakonetchnj, I. Yarema, Ph.D., Assoc. Prof.  
DETERMINATION OF THE OWNED FREQUENCY OF THE TORSIONAL VIBRATIONS OF PLASTIC BLADE LAUNCHERS TURBINE EXPANDER

Пластмасові лопатки застосовуються в холодних турбомашинах, наприклад в пускових турбодетандерах деяких газових турбін. При розрахунках на міцність важливо знати величину власних коливань лопаток, оскільки при деяких (резонансних) числах обертів ротора амплітуди коливань лопаток можуть бути настільки великими, що відбудеться їх руйнування.

Розрахункову схему пера лопатки представимо у вигляді стержня, один кінець якого зацімлений, а інший вільний (Рис.1,а).

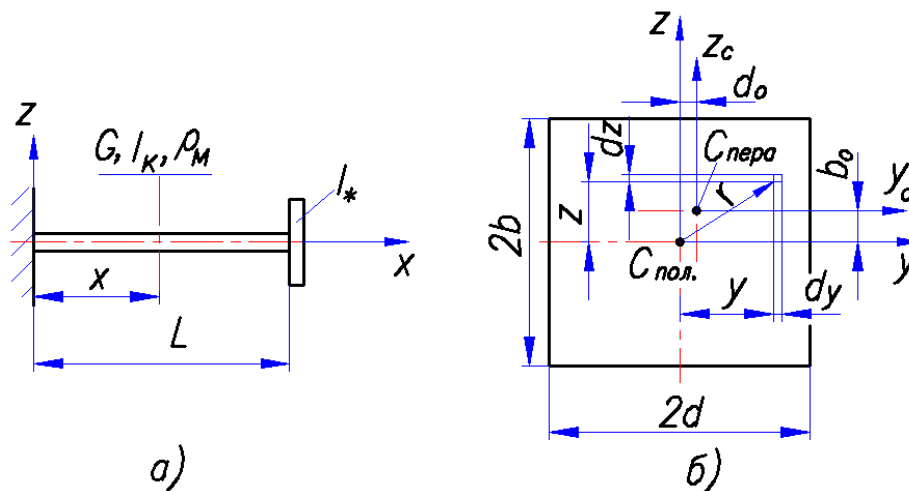


Рисунок 1 – Схема для визначення власної частоти крутних коливань пластмасової лопатки (а) та махового моменту інерції бандажної полички (б)

На вільній стороні пера ( $x=L$ ) зосереджений приведений маховий момент інерції  $I_*$ , який складається з махового моменту інерції бандажної полички і пера.

Маховий момент інерції полички відносно власного центра ваги  $C_{пол.}$  (Рис.1,б) дорівнює

$$I_{C_{пол.}} = \int_m r^2 dm = \iint_S (z^2 + y^2) \rho_M \cdot h \cdot dz \cdot dy, \text{ звідси } I_{C_{пол.}} = \frac{4}{3} \rho_M \cdot h \cdot d \cdot b \cdot (d^2 + b^2)$$

Тут  $\rho_M$  - питома вага матеріалу лопатки.

Маховий момент інерції полички відносно центра ваги пера  $C_{пера}$  дорівнює

$$I_*' = I_{C_{пол.}} + 4\rho_M \cdot h \cdot d \cdot b (d_0^2 + b_0^2) = 4\rho_M \cdot h \cdot d \cdot b \left( \frac{d^2 + b^2}{2} + (d_0^2 + b_0^2) \right) \quad (1)$$

Враховуючи математичні труднощі, обумовлені складною конфігурацією поперечного перерізу пера, для розрахунку його махового моменту інерції

приймаються наступні спрощення. При співрозмірних розмірах по осях у та z пера, його можна замінити циліндром  $d_c$  з рівновеликою площею поперечного перерізу. Тоді маховий момент інерції пера

$$I_*' \approx \frac{m_n \cdot d_u^2}{8} = \frac{\pi \cdot d_u^4}{32} \rho_m \cdot l \quad (2)$$

Відомо [1], що приведений до вільного кінця стержня маховий момент інерції системи, що коливається, можна прийняти приблизно рівним половині, розрахованого по (2). Тоді приведений до вільного кінця пера маховий момент інерції всієї системи дорівнює

$$I_* \approx I_*' + \frac{1}{2} I_*'' = 4 \rho_m \cdot h \cdot d \cdot b \left( \frac{d^2 + b^2}{2} + (d_0^2 + b_0^2) \right) + \frac{\pi \cdot d_u^4}{64} \rho_m \cdot l \quad (3)$$

Відомо, також, [1], що власна форма крутих коливань стержня в довільному перерізі  $x$  має вид

$$\varphi(x) = \frac{M_0 \cdot a}{P \cdot G \cdot I_k} \rho_m \frac{P \cdot x}{a} + \varphi_0 \cos \frac{P \cdot x}{a}$$

Тут  $M_0$  і  $\varphi_0$  - відповідно крутий момент і кут повороту перерізу стержня в місці зацімлення;  $P$  - частота власних коливань;  $G$  - модуль пружності другого роду для матеріалу лопатки;  $a = \sqrt{G / \rho_m}$ . Внутрішній крутий момент у довільному перерізі  $x$

$$M(x) = M_0 \cdot \cos \frac{P \cdot x}{a} - \frac{\varphi_0 \cdot P \cdot G \cdot I_k}{a} \sin \frac{P \cdot x}{a}$$

Враховуючи, що на вільному кінці лопатки ( $x=l$ ), де діє маховий момент  $I_*$ , крутий момент  $M(l) = 0$ , а в місці зацімлення кут повороту  $\varphi_0 = 0$ , отримаємо рівняння для визначення власної частоти коливань пера лопатки

$$\cos \frac{P \cdot l}{a} - \frac{I_* \cdot P \cdot a}{G \cdot I_k} \sin \frac{P \cdot l}{a} = 0; \quad \text{tg} \frac{P \cdot l}{a} = \frac{\chi}{\frac{P \cdot l}{a}}, \quad (4)$$

де  $\chi = \frac{G \cdot I_k \cdot l}{I_* \cdot a}$ .

Результати розрахунку робочих пластмасових лопаток турбодетандера ГТ-700-5, виконаного по такій методиці, приведені в табл.1.

Таблиця 1.

Найменування	Розмірність	Робочі лопатки	
		1-а ступінь	2-а ступінь
Швидкість обертання ротора, n	об/хв	9000	9000
Маховий момент інерції (перо-лопатка), $I_*$	кг·м <sup>4</sup> ·10 <sup>-9</sup>	22,063	50,474
Перша (нижча) частота крутих коливань, P	с <sup>-1</sup>	34723	17351

Як видно, нижчі (резонансні) частоти крутих коливань пластмасових лопаток набагато вищі від робочого діапазону кутової швидкості ротора турбіни (9000 об/хв, або  $\omega=942,5 \text{ с}^{-1}$ ), отже немає загрози резонансних явищ.

### Література

1. Малинин, Н.Н. Прочность турбомашин. [Текст] / Н.Н. Малинин. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 294с.