

5. Косов В.И. Системные принципы разработки ресурсосберегающих технологий в торфяном производстве. Автореф. на соискание ученой степени докт.техн.наук: спец. 05.15.05 / Косов Владимир Иванович. Тверь, 1991. – 44 с.
6. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г. Лойцянский. М., 1970. – 904 с.
7. Jeans J.H. The Dyhamical Theory of Gases / J.H. Jeans. - Cambridge University Press, 1925.-284 p.
8. Яконовский П.А. Обоснование параметров щеточного рабочего органа машины для ворошения фрезерного торфа в расстиле. дис. ... канд.техн.наук: 05.05.06 / Яконовский Павел Александрович. Тверь, 2010. – 118 с.

Andriy Voytik, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasyl Kravchenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Ivan Lisovoy, PhD tech. sci.

Uman national University of horticulture, Uman, Ukraine

Ivan Pavlenko, prof., DSc.

Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine

The definition of the distance drop of the soil working body of the brush in the disclosure of the root system of the mother plant

Improvement brush the working bodies of machines for disclosure of the root system of the mother plant with the aim of increasing the degree of removal of soil.

The article considers technologies and technical means for the disclosure of the root system of the mother plant clonal rootstocks. Found that the rational option is the use of the combined device with passive and active working element cylindrical brushes with vertical axes of rotation and flexible working elements. Analyzed the workflow of one rod lint brush and determined forces that are not. As a result of analysis of previous studies relating to the distance of the drop particles when working cylindrical brushes using the theory of dimensions and similarity of the equation to determine the distance of the drop of soil particles or soil that covers the root system of the mother plant.

It is established that to ensure the abandonment of the land within its range from which it is removed, vehicles for disclosure of the root system of the mother plant, you must install additional shields.

brush, rod pile, deflection, substrate, roller, soil, size, weight

Одержано 12.11.15

УДК 62–752+62–755

В.В. Гончаров, доц. канд фіз.-мат. наук

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна

Мінімізація тривалості перебігу перехідних процесів роторної машини на пружно-в'язких опорах з одним автобалансиром

Досліджено тривалість перебігу перехідних процесів в роторній машині, в якій ротор поміщений з можливістю обертатися навколо власної поздовжньої осі в корпус на пружно-в'язких опорах і зрівноважується статично одним автобалансиром з багатьма корегувальними вантажами.

Показано, що тривалість перебігу перехідних процесів:

а) залежить від семи безрозмірних параметрів;

б) зменшується при збільшенні маси корегувальних вантажів та значному збільшенні:

- видовженості складеного ротора (на великих швидкостях обертання);

- жорсткості опор корпусу для довгого (на великих швидкостях обертання) і короткого (на малих швидкостях обертання) складеного ротора;

- швидкості обертання для довгого і дуже короткого складеного ротора;
 в) суттєво зменшується при наближенні швидкості обертання ротора до його резонансної швидкості за рахунок безпосереднього зменшення швидкості обертання або – збільшення резонансної швидкості через збільшення видовженості складеного ротора чи жорсткості його опор;

г) зменшується при: значному віддаленні точки підвісу від центра мас ротора або наближенні безпосередньо до нього для довгого і сферичного (на малих швидкостях обертання) складеного ротора; при наближенні точки підвісу до свого екстремального значення для короткого і сферичного (на великих швидкостях обертання) складеного ротора.

ротор, корпус, дисбаланс, автобалансир, перехідні процеси, мінімізація

В.В. Гончаров, доц., канд. физ.-мат. наук

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина

Минимизация продолжительности протекания переходных процессов роторной машины на упруго-вязких опорах с одним авто балансиrom

Исследована продолжительность протекания переходных процессов в роторной машине, в которой ротор помещен с возможностью вращаться вокруг собственной продольной оси в корпус на упруго-вязких опорах и уравнивается статически одним автобалансиром со многими корректирующими грузами.

Показано, что продолжительность протекания переходных процессов:

а) зависит от семи безразмерных параметров;

б) уменьшается при увеличении массы корректирующих грузов и значительном увеличении:

- удлиненности составного ротора (на больших скоростях вращения);

- жесткости опор корпуса для длинного (на больших скоростях вращения) и короткого (на малых скоростях вращения) составного ротора;

- скорости вращения для длинного и очень короткого составного ротора;

в) существенно уменьшается при приближении скорости вращения ротора к его резонансной скорости за счет непосредственного уменьшения скорости вращения или – увеличения резонансной скорости через увеличение удлиненности составного ротора или жесткости его опор;

г) уменьшается при: существенном удалении точки подвеса АБ от центра масс ротора или приближении непосредственно к нему для длинного и сферического (на малых скоростях вращения) составного ротора; приближении точки подвеса к своему экстремальному значению для короткого и сферического (на больших скоростях вращения) составного ротора.

ротор, корпус, дисбаланс, автобалансир, переходные процессы, минимизация

Вступ. Ротори багатьох відцентрових машин встановлені в корпус з можливістю обертатися, а уже корпус закріплений пружно-в'язко і здійснює неплюскій рух. В цих машинах дисбаланс ротора змінюється в процесі виконання технологічних операцій, тому його доцільно зрівноважувати на ходу пасивними автобалансирами (АБ) [1,2].

Постановка проблеми. На даний момент практично відсутні дослідження тривалості перебігу перехідних процесів (ПП) при статичному зрівноваженні роторних машин, які складаються з ротора, поміщеного з можливістю обертання навколо поздовжньої осі в корпусі на пружно-в'язких опорах, і АБ з багатьма корегувальними вантажами (КВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш повний огляд літератури по пасивному автобалансуванню роторних машин наведений в [2]. Врахування цього огляду, більш пізніх публікацій і робіт [3–10] показує, що на сьогодні практично немає робіт, в яких аналітично досліджується ПП при статичному автобалансуванні роторних машин на пружно-в'язких опорах - визначаються тільки умови настання автобалансування у вигляді критичних швидкостей обертання ротора, при переході через які настає або пропадає автобалансування.

В роботі [12] з використанням методу, запропонованого в [11], отримані корені характеристичного рівняння, за якими можна проводити оцінку тривалості перебігу ПП при настанні автобалансування роторної машини на пружно-в'язких опорах із одним АБ з багатьма КВ.

Постановка задачі. Метою даної роботи є аналітична мінімізація тривалості перебігу ПП на основі коренів характеристичного рівняння отриманих в [12] для роторної машини на пружно-в'язких опорах із одним АБ з багатьма КВ.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються наступні задачі:

- отримується вираз, який залежить від шести безрозмірних параметрів роторної машини і описує найменшу тривалість її ПП;
- досліджується вплив п'яти параметрів роторної машини на тривалість ПП.

Виклад основного матеріалу

1. Опис теоретико-механічної моделі роторної машини

Осесиметричний ротор масою m_r встановлений в корпусі масою m_c і обертається відносно корпусу з постійною кутовою швидкістю ω (рис. 1). Центри мас ротора і корпусу співпадають і розташовані в точці G . Корпус утримують опори, пружні і в'язкі властивості яких характеризують відповідні числа – k і b .

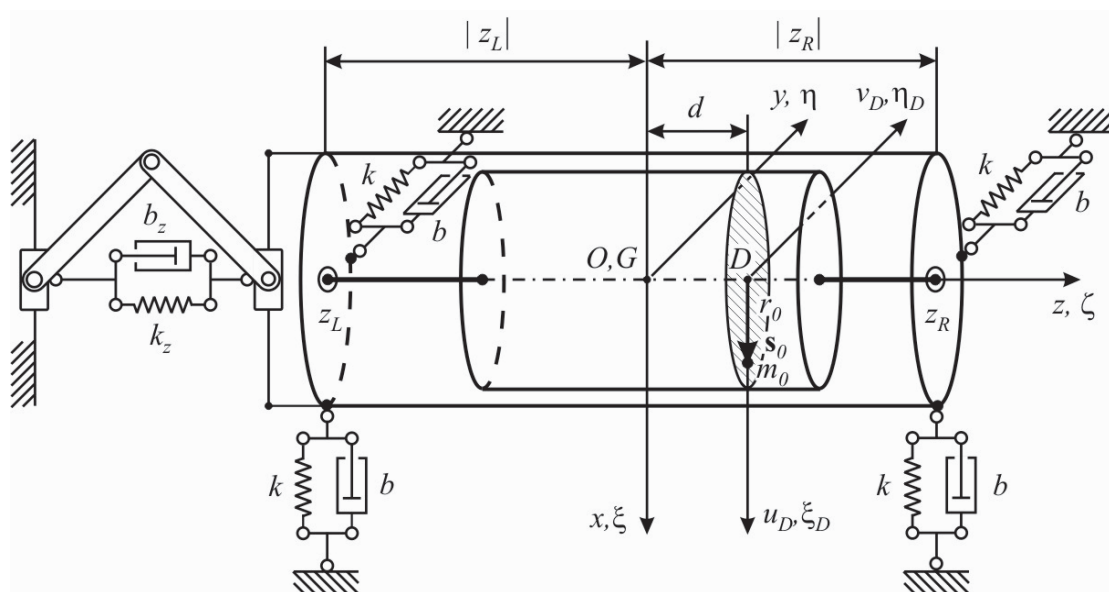


Рисунок 1 – Ротор з АБ в корпусі, встановленому на пружно-в'язких опорах
Джерело: побудовано автором на підставі [12. С. 43].

Рух ротора описується трьома системами осей: нерухомою – $Oxyz$; рухомими – $Guvw$ і $G\xi\eta\zeta$, жорстко зв'язаними відповідно з корпусом і ротором. У вихідному положенні всі три системи співпадають. Вісь Oz спрямована уздовж осі обертання ротора. У площині $z = d > 0$ розташований статичний дисбаланс s_0 (рис. 1). У цій площині ротор врівноважує АБ, який складається з n однакових КВ - маятників, куль або циліндричних роликів.

Відносно системи осей $Ouvw$ тензори інерції ротора і корпусу мають вигляд $J_r = \text{Diag}(A_r, A_r, C_r)$, $J_c = \text{Diag}(A_c, A_c, C_c)$.

Як це прийнято в теорії пасивних АБ [1-12], дією сил тяжіння нехтуємо і вважаємо, що КВ не заважають рухатися один одному і, у випадку куль або роликів, мають радіуси набагато менше радіуса їх бігових доріжок.

Відносно руху i -ої кулі або ролика (маятника) $/i = \overline{1, n}/$ в АБ перешкоджає ньютонівська сила (момент сил) в'язкого опору, яка(ий) пропорційна(ий) b – коефіцієнту сил (моменту сил) в'язкого опору.

В роботі [12] показано, що ротор з корпусом утворюють умовний складений ротор (СР) і тривалість перебігу ПП описується коренями характеристичного рівняння $\lambda_{1,4}$:

$$\lambda_{1,2} = -\tilde{\omega}^4 (\tilde{C}_{\tilde{\omega}} + \tilde{d}^2 \tilde{k}_{\tilde{\omega}} + 2\tilde{d} \tilde{k}_{x\beta}) / (\tilde{C}_{\tilde{\omega}} \tilde{k}_{\tilde{\omega}} - \tilde{k}_{x\beta}^2) \cdot \tilde{m}(1 \mp p) / \tilde{b}, \quad \lambda_{3,4} = -\tilde{b}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{де } \tilde{C}_{\tilde{\omega}} &= \tilde{\omega}^2(1 - \tilde{C}) - 1, \quad \tilde{k}_{\tilde{\omega}} = \tilde{\omega}^2 - \tilde{k}_x; \quad \tilde{\omega} = \omega/\omega_0, \quad \tilde{C} = C_r/A, \quad \tilde{k}_x = 2k/(\omega_0^2 M), \\ \tilde{k}_{x\beta} &= k(z_L + z_R)/(\omega_0^2 \sqrt{AM}), \quad \tilde{m} = mn/(2\kappa M), \quad \tilde{b} = b/(m\kappa\omega_0), \quad \tilde{d} = d\sqrt{M/A}; \\ M &= m_c + m_r, \quad A = A_c + A_r, \quad \omega_0 = \sqrt{k_p/A}; \end{aligned}$$

p – параметр АБ, який на встановленому русі при більше двох КВ в АБ є випадковою величиною і при фіксованих масо-інерційних параметрах роторної машини може приймати будь-яке значення на області $[0; 1]$, яке визначається поточним розташуванням КВ в АБ на встановленому русі з сім'ї таких рухів;

κ – коефіцієнт, який характеризує кінетичну енергію обертального руху КВ.

2. Мінімізація тривалості перебігу ПП роторної машини

Тривалість перебігу ПП визначається найбільшою дійсною частиною коренів (1), тобто значенням $\lambda_m = \max(\operatorname{Re} \lambda_i), i = 1, 4$. Вона буде тим меншою чим менше значення λ_m . З (1) маємо:

$$\lambda_m = \begin{cases} -\tilde{b}_{\text{кр}}^2 / \tilde{b}, & \text{при } \tilde{b} \geq \tilde{b}_{\text{кр}}, \\ -\tilde{b}, & \text{при } \tilde{b} < \tilde{b}_{\text{кр}}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{де } \tilde{b}_{\text{кр}} = \tilde{\omega}^2 \sqrt{\tilde{m}(1-p)(\tilde{C}_{\tilde{\omega}} + \tilde{d}^2 \tilde{k}_{\tilde{\omega}} + 2\tilde{d} \tilde{k}_{x\beta}) / (\tilde{C}_{\tilde{\omega}} \tilde{k}_{\tilde{\omega}} - \tilde{k}_{x\beta}^2)}. \quad (3)$$

З (2) слідує, що $\min \lambda_m = -\tilde{b}_{\text{кр}}$, тому задача мінімізації тривалості перебігу ПП зводиться до дослідження параметра $\tilde{b}_{\text{кр}}$ на найбільше значення. Так як параметр p при більше 2-х КВ в АБ не є конструктивним параметром (до початку роботи роторної машини йому не можна надати певного фіксованого значення), то параметр $\tilde{b}_{\text{кр}}$ є функцією шести безрозмірних параметрів $\tilde{\omega}, \tilde{C}, \tilde{d}, \tilde{k}_x, \tilde{k}_{x\beta}, \tilde{m}$, які можна корегувати. Визначимо вплив кожного з цих параметрів на $\tilde{b}_{\text{кр}}$ і знайдемо максимальне значення параметра $\tilde{b}_{\text{кр}}$.

2.1. Вплив маси КВ на тривалість перебігу ПП

З (3) слідує що, параметр $\tilde{b}_{\text{кр}}$ є монотонно зростаючим по $\tilde{m}$, тому тривалість перебігу ПП буде найменшою при найбільшому значенні параметру $\tilde{m}$, при якому його ще можна вважати малою величиною.

2.2. Вплив видовженності СР на тривалість перебігу ПП

З (3) слідує, що:

а) область визначення параметра $\tilde{C}$:

$$\tilde{C} \in \begin{cases} (0; \tilde{C}_1) & \text{при } \tilde{\omega}^2 < (\tilde{d}^2 \tilde{k}_x - 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} + 1) / (1 + \tilde{d}^2), \\ (\tilde{C}_2; \tilde{C}_1) & \text{при } (\tilde{d}^2 \tilde{k}_x - 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} + 1) / (1 + \tilde{d}^2) < \tilde{\omega}^2 < \tilde{k}_x, \\ (\tilde{C}_2; \infty) & \text{при } \tilde{k}_x \leq \tilde{\omega}^2 < [1 + \tilde{k}_x + \sqrt{(1 - \tilde{k}_x)^2 + 4\tilde{k}_{x\beta}^2}] / 2, \\ (0; \tilde{C}_1) \cup (\tilde{C}_2; \infty) & \text{при } [1 + \tilde{k}_x + \sqrt{(1 - \tilde{k}_x)^2 + 4\tilde{k}_{x\beta}^2}] / 2 < \tilde{\omega}^2, \end{cases}$$

де $\tilde{C}_1 = 1 - [1 + \tilde{k}_{x\beta}^2 / (\tilde{\omega}^2 - \tilde{k}_x)] / \tilde{\omega}^2$, $\tilde{C}_2 = 1 + [\tilde{d}^2 (\tilde{\omega}^2 - \tilde{k}_x) + 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} - 1] / \tilde{\omega}^2$ – критичні значення параметра $\tilde{C}$;

б) похідна $\tilde{b}_{кр}$ по параметру $\tilde{C}$:

$$(\tilde{b}_{кр})'_{\tilde{C}} = \tilde{\omega}^4 \sqrt{\tilde{m}(1-p)} (\tilde{d}\tilde{k}_{\omega} + \tilde{k}_{x\beta})^2 / [2\sqrt{(\tilde{C}_{\omega} + \tilde{d}^2 \tilde{k}_{\omega} + 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta})(\tilde{C}_{\omega} \tilde{k}_{\omega} - \tilde{k}_{x\beta}^2)^3}] < 0.$$

Тому параметр $\tilde{b}_{кр}$ є зростаючим відносно $\tilde{C}$ і тривалість перебігу ПП тим менша, чим коротший СР. Таким чином, тривалість перебігу ПП:

- зменшується при значному збільшенні параметра $\tilde{C}$ на великих швидкостях обертання ротора – $\tilde{\omega}^2 > \tilde{k}_x$;

- суттєво зменшується при наближенні параметра $\tilde{C}$ до значення $\tilde{C}_1$ на швидкостях обертання ротора $\tilde{\omega}^2 \in (0; \tilde{k}_x) \cup (\tilde{\omega}^2 > [1 + \tilde{k}_x + \sqrt{(1 - \tilde{k}_x)^2 + 4\tilde{k}_{x\beta}^2}] / 2; \infty)$, при цьому швидкість обертання ротора наближається до його резонансної швидкості.

2.3. Вплив жорсткості опор СР на тривалість перебігу ПП

З (3) слідує, що

а) область визначення параметра $\tilde{k}_x$:

- для довгого СР ($1 - \tilde{C} > 0$):

$$\tilde{k}_x \in \begin{cases} (0; \tilde{k}_{x1}) & \text{при } \tilde{\omega}^2 < (1 - 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta}) / (1 - \tilde{C} + \tilde{d}^2), \\ [\tilde{k}_{x2}; \tilde{k}_{x1}) & \text{при } (1 - 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta}) / (1 - \tilde{C} + \tilde{d}^2) \leq \tilde{\omega}^2 < 1 / (1 - \tilde{C}), \\ [\tilde{k}_{x2}; \infty) & \text{при } 1 / (1 - \tilde{C}) \leq \tilde{\omega}^2 < [1 + \sqrt{1 + 4\tilde{k}_{x\beta}^2 (1 - \tilde{C})}] / [2(1 - \tilde{C})], \\ (0; \tilde{k}_{x1}) \cup [\tilde{k}_{x2}; \infty) & \text{при } [1 + \sqrt{1 + 4\tilde{k}_{x\beta}^2 (1 - \tilde{C})}] / [2(1 - \tilde{C})] \leq \tilde{\omega}^2, \end{cases}$$

де $\tilde{k}_{x1} = \tilde{\omega}^2 - \tilde{k}_{x\beta}^2 / \tilde{C}_{\omega}$, $\tilde{k}_{x2} = \tilde{\omega}^2 + (\tilde{C}_{\omega} + 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta}) / \tilde{d}^2$ – критичні значення параметра $\tilde{k}_x$;

- для короткого СР ($1 - \tilde{C} < 0$):

$$\tilde{k}_x \in \begin{cases} (0; \tilde{k}_{x1}) \cup [\tilde{k}_{x2}; \infty) & \text{при } \tilde{\omega}^2 < 1 / (1 - \tilde{C}), \\ [\tilde{k}_{x2}; \tilde{k}_{x1}) & \text{при } 1 / (1 - \tilde{C}) \leq \tilde{\omega}^2; \end{cases}$$

- для сферичного СР ($1 - \tilde{C} = 0$):

$$\tilde{k}_x \in \begin{cases} (0; \tilde{k}_{x4}) & \text{при } \tilde{\omega}^2 < (2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} - 1) / \tilde{d}^2, \\ [\tilde{k}_{x3}; \tilde{k}_{x4}) & \text{при } (2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} - 1) / \tilde{d}^2 \leq \tilde{\omega}^2, \end{cases}$$

де $\tilde{k}_{x3} = \tilde{\omega}^2 + (2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} - 1)/\tilde{d}^2$, $\tilde{k}_{x4} = \tilde{\omega}^2 + \tilde{k}_{x\beta}^2$ – критичні значення жорсткості сферичного ротора;

б) похідна $\tilde{b}_{кр}$ по параметру $\tilde{k}_x$:

$$(\tilde{b}_{кр})'_{\tilde{k}_x} = \tilde{\omega}^2 \sqrt{\tilde{m}(1-p)} (\tilde{C}_{\tilde{\omega}} + \tilde{d}\tilde{k}_{x\beta})^2 / \sqrt{(\tilde{C}_{\tilde{\omega}} + \tilde{d}^2\tilde{k}_{\tilde{\omega}} + 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta})(\tilde{C}_{\tilde{\omega}}\tilde{k}_{\tilde{\omega}} - \tilde{k}_{x\beta}^2)^3} < 0.$$

Тому параметр $\tilde{b}_{кр}$ є зростаючим відносно $\tilde{k}_x$ і тривалість перебігу ПП:

- зменшується при значному збільшенні жорсткості опор $\tilde{k}_x$ ($\tilde{k}_x \rightarrow \infty$) на швидкостях обертання: $\tilde{\omega}^2 \geq 1/(1-\tilde{C})$, якщо СР довгий, і $\tilde{\omega}^2 < 1/(1-\tilde{C})$, якщо СР короткий;

- суттєво зменшується при наближенні жорсткості опор $\tilde{k}_x$ до значення: $\tilde{k}_{x1}$ на швидкостей обертання $\tilde{\omega}^2 \in (0; 1/(1-\tilde{C})) \cup ([1/(1-\tilde{C}) + \sqrt{1/(1-\tilde{C})^2 + 4\tilde{k}_{x\beta}^2/(1-\tilde{C})}]/2; \infty)$ для довгого СР і на будь-яких швидкостях обертання для короткого СР; $\tilde{k}_{x4}$ для сферичного СР (при цьому в усіх випадках швидкість обертання ротора наближається до його резонансної швидкості).

2.4. Вплив положення точки підвісу АБ СР на тривалість перебігу ПП

З (3) слідує, що:

а) область визначення параметра $\tilde{d}$:

- для довгого СР:

$$\tilde{d} \in \begin{cases} (0; \tilde{d}_1) \cup (\tilde{d}_2; \infty) & \text{при } \tilde{\omega}_{p1}^2 < \tilde{\omega}^2 < \min(\tilde{\omega}_{вч1}^2, \tilde{\omega}_{вч2}^2), \tilde{k}_{x\beta} > 0, \\ (\tilde{d}_2; \infty) & \text{при } \tilde{\omega}_{вч2}^2 < \tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч1}^2, \\ (0; \tilde{d}_1) & \text{при } \tilde{\omega}_{вч1}^2 < \tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч2}^2, \\ (0; \infty) & \text{при } \tilde{\omega}_{p2}^2 < \tilde{\omega}^2, \end{cases}$$

де $\tilde{d}_{1,2} = (-\tilde{k}_{x\beta} \pm \sqrt{\tilde{k}_{x\beta}^2 - \tilde{C}_{\tilde{\omega}}\tilde{k}_{\tilde{\omega}}})/\tilde{k}_{\tilde{\omega}}$ – критичні положення точки підвісу АБ,

$\tilde{\omega}_{p1,p2}^2 = [1 + \tilde{k}_x(1-\tilde{C}) \pm \sqrt{[1 - \tilde{k}_x(1-\tilde{C})]^2 + 4(1-\tilde{C})\tilde{k}_{x\beta}^2}]/[2(1-\tilde{C})]$ – резонансні швидкості довгого СР;

- для короткого СР:

$$\tilde{d} \in \begin{cases} (\tilde{d}_1; \tilde{d}_2) & \text{при } 0 < \tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч1}^2, \tilde{k}_{x\beta} > 0, \\ (0; \tilde{d}_1) & \text{при } \tilde{\omega}_{p1}^2 < \tilde{\omega}^2; \end{cases}$$

- для сферичного СР:

$$\tilde{d} \in \begin{cases} (0; \tilde{d}_1) \cup (\tilde{d}_2; \infty) & \text{при } \tilde{\omega}_p^2 < \tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч1}^2, \tilde{k}_{x\beta} > 0, \\ (0; \tilde{d}_1) & \text{при } \tilde{\omega}_{вч1}^2 < \tilde{\omega}^2, \end{cases}$$

де $\tilde{\omega}_p^2 = \tilde{k}_x - \tilde{k}_{x\beta}^2$ - резонансна швидкість сферичного СР;

б) похідна $\tilde{b}_{кр}$ по параметру $\tilde{d}$:

$$(\tilde{b}_{кр})'_d = \tilde{\omega}^2 \sqrt{\tilde{m}(1-p)\tilde{k}_{\omega}}(\tilde{d} - \tilde{d}_0) / \sqrt{(\tilde{C}_{\omega} + \tilde{d}^2 \tilde{k}_{\omega} + 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta})(\tilde{C}_{\omega}\tilde{k}_{\omega} - \tilde{k}_{x\beta}^2)},$$

де $\tilde{d}_0 = -\tilde{k}_{x\beta} / \tilde{k}_{\omega}$ - екстремальне значення параметра $\tilde{d}$, при цьому $(\tilde{b}_{кр})'_d \geq 0$, якщо $\tilde{d}\tilde{k}_{\omega} + \tilde{k}_{x\beta} \geq 0$, і $(\tilde{b}_{кр})'_d < 0$, якщо $\tilde{d}\tilde{k}_{\omega} + \tilde{k}_{x\beta} < 0$.

Тому тривалість перебігу ПП зменшується:

- для довгого СР при: значному збільшенні параметра $\tilde{d}$ ($\tilde{d} \rightarrow \infty$) на швидкостях обертання $\tilde{\omega}_{p1}^2 < \tilde{\omega}^2 < \min(\tilde{\omega}_{вч1}^2, \tilde{\omega}_{вч2}^2)$ (при $\tilde{k}_{x\beta} > 0$, $\tilde{d} > \tilde{d}_2$) або $\tilde{\omega}_{p2}^2 < \tilde{\omega}^2$; значному зменшенні параметра $\tilde{d}$ ($\tilde{d} \rightarrow 0$) на швидкостях обертання $\tilde{\omega}_{вч1}^2 < \tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч2}^2$ або $\tilde{\omega}_{p1}^2 < \tilde{\omega}^2 < \min(\tilde{\omega}_{вч1}^2, \tilde{\omega}_{вч2}^2)$ (при $\tilde{k}_{x\beta} > 0$, $\tilde{d} < \tilde{d}_1$);

- для короткого СР при $\tilde{d} \rightarrow \max(0; \tilde{d}_0)$ на швидкостях обертання: великих ($\tilde{\omega}_{вч1}^2 < \tilde{\omega}^2$) і малих ($\tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч1}^2$) при $\tilde{k}_{x\beta} > 0$;

- для сферичного СР на швидкостях обертання: малих ($\tilde{\omega}_p^2 < \tilde{\omega}^2 < \tilde{\omega}_{вч1}^2$, $\tilde{k}_{x\beta} > 0$) при значному зменшенні параметра $\tilde{d}$ ($\tilde{d} \rightarrow 0$), якщо $\tilde{d} < \tilde{d}_1$, і при значному збільшенні параметра $\tilde{d}$ ($\tilde{d} \rightarrow \infty$), якщо $\tilde{d} > \tilde{d}_2$; великих ($\tilde{\omega}_{вч1}^2 < \tilde{\omega}^2$) при $\tilde{d} \rightarrow \max(0; \tilde{d}_0)$.

2.5. Вплив швидкості обертання ротора на тривалість перебігу ПП

З (3) слідує, що

а) область визначення параметра $\tilde{\omega}^2$:

- для довгого СР – $\tilde{\omega}^2 \in (\tilde{\omega}_{p1}^2; \tilde{\omega}_{p2}^2) \cup (\tilde{\omega}_{p3}^2; \infty)$, де $\tilde{\omega}_{p2}^2 = (\tilde{k}_x \tilde{d}^2 - 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta} + 1) / (\tilde{d}^2 + 1 - \tilde{C})$;

- для короткого СР $\tilde{\omega}^2 \in (\tilde{\omega}_{p1}^2; \infty)$ при $1 - \tilde{C} < -\tilde{d}^2$ і $\tilde{\omega}^2 \in (\tilde{\omega}_{p1}^2; \tilde{\omega}_{p2}^2)$ при $1 - \tilde{C} > -\tilde{d}^2$;

- для сферичного СР – $\tilde{\omega}^2 \in (\tilde{k}_x - \tilde{k}_{x\beta}^2; \tilde{\omega}_{p2}^2)$;

б) похідна $\tilde{b}_{кр}$ по параметру $\tilde{\omega}^2$ – $(\tilde{b}_{кр})'_{\omega^2} = -K(\tilde{\omega}^2) f(\tilde{\omega}^2)$,

де $K(\tilde{\omega}^2) = \sqrt{\tilde{m}(1-p) / [(\tilde{C}_{\omega} + \tilde{d}^2 \tilde{k}_{\omega} + 2\tilde{d}\tilde{k}_{x\beta})(\tilde{C}_{\omega}\tilde{k}_{\omega} - \tilde{k}_{x\beta}^2)^3]} (1 - \tilde{C} + \tilde{d}^2)(1 - \tilde{C}) / 2$,

$$f(\tilde{\omega}^2) = \tilde{\omega}^6 - 2(\tilde{\omega}_{p1}^2 + \tilde{\omega}_{p3}^2)\tilde{\omega}^4 + \tilde{\omega}^2[3\tilde{\omega}_{p1}^2\tilde{\omega}_{p3}^2 + (\tilde{\omega}_{p1}^2 + \tilde{\omega}_{p3}^2)\tilde{\omega}_{p2}^2] - 2\tilde{\omega}_{p1}^2\tilde{\omega}_{p2}^2\tilde{\omega}_{p3}^2.$$

Можна показати, що кубічна парабола $f(\tilde{\omega}^2)$ може мати від одного до трьох коренів. При цьому вона:

- для довгого СР при виконанні умов $\tilde{\omega}_{p2}^2 < \tilde{\omega}_*^2, \tilde{\omega}_{p2}^2 = \tilde{\omega}_*^2$; $\tilde{\omega}_{p2}^2 > \tilde{\omega}_*^2$, $2\tilde{\omega}_{p1}^2 < \tilde{\omega}_{p3}^2$, де $\tilde{\omega}_*^2 = [9\tilde{\omega}_{p1}^2\tilde{\omega}_{p3}^2(\tilde{\omega}_{p1}^4 - \tilde{\omega}_{p1}^2\tilde{\omega}_{p3}^2 + \tilde{\omega}_{p3}^4)] / (\tilde{\omega}_{p1}^2 + \tilde{\omega}_{p3}^2)^3$, має, відповідно, один $\tilde{\omega}_3^2$, два $\tilde{\omega}_{2,3}^2$ або три $\tilde{\omega}_{1,3}^2$ корені, які задовольняють умови $\tilde{\omega}_{1,2}^2 \in (\tilde{\omega}_{p1}^2, \tilde{\omega}_{p2}^2)$, $\tilde{\omega}_3^2 \in (\tilde{\omega}_{p3}^2, \infty)$ і $\tilde{b}_{кр}(\tilde{\omega}_{p1}^2) < \tilde{b}_{кр}(\tilde{\omega}_{p3}^2) < \tilde{b}_{кр}(\tilde{\omega}_{p2}^2)$, $\tilde{b}_{кр}(\tilde{\omega}_{p1}^2) - \tilde{b}_{кр}(\tilde{\omega}_{p2}^2) < 1$;

- для короткого ротора: при $1 - \tilde{C} < -\tilde{d}^2$ має один корінь $\tilde{\omega}_3^2$ і параметр $\tilde{b}_{кр}$ має локальний мінімум; при $1 - \tilde{C} > -\tilde{d}^2$ не має коренів і параметр $\tilde{b}_{кр}$ є монотонно спадним;

- для сферичного не має коренів і параметр $\tilde{b}_{кр}$ є монотонно спадним.

Тому тривалість перебігу ПП:

а) зменшується при значному збільшенні швидкості обертання ротора (на великих швидкостях обертання) для будь-якого довгого СР і короткого СР при $1 - \tilde{C} < -\tilde{d}^2$;

б) суттєво зменшується при наближенні швидкості обертання ротора до однієї з своїх резонансних швидкостей.

Висновки. В результаті досліджень було встановлено, що тривалість перебігу ПП роторної машини на пружно-в'язких опорах з одним АБ:

а) залежить від семи безрозмірних параметрів;

б) зменшується при збільшенні маси КВ та значному збільшенні:

- видовженності СР (на великих швидкостях обертання);

- жорсткості опор корпуса для довгого СР (на великих швидкостях обертання) і для короткого СР (на малих швидкостях обертання);

- швидкості обертання ротора для довгого і дуже короткого СР;

в) суттєво зменшується при наближенні швидкості обертання ротора до його резонансної швидкості за рахунок безпосереднього зменшення швидкості обертання або – збільшення резонансної швидкості СР через збільшення його видовженності чи жорсткості його опор;

г) зменшується при: значному віддаленні точки підвісу від центра мас ротора або наближенні до нього для довгого і сферичного (на малих швидкостях обертання) СР; при наближенні точки підвісу до свого екстремального значення для короткого і сферичного (на великих швидкостях обертання) СР.

Список літератури

1. Гусаров А.А. Автобалансирующие устройства прямого действия [Текст] / А.А. Гусаров. – М.: Наука, 2002. – 119 с.
2. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами [Текст] / Г.Б. Філімоніхін. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 352 с.
3. Sperling L. Self-synchronization and automatic balancing in rotor dynamics [Текст] / L. Sperling, F. Merten, H. Duckstein // Int. J. Rotating Machinery. – 2000. – V. 6. – № 4. – P. 275-285.
4. Sperling L. Simulation of two-plane automatic balancing of a rigid rotor [Текст] / L. Sperling, B. Ryzhik, Ch. Linz, H. Duckstein // Mathematics and Computers in Simulation – 2002. – V. 58. – № 4-6, – P. 351-365.
5. Sperling L. Single-Plane Auto-Balancing of Rigid Rotors [Текст] / L. Sperling, B. Ryzhik, H. Duckstein // Technische Mechanik. – 2004. – V. 24. – № 1. – P. 1-24.
6. Green K. Bifurcation analysis of an automatic dynamic balancing mechanism for eccentric rotors [Текст] / K. Green, A.R. Champneys, N.J. Lieven // Journal of Sound and Vibration, Volume 291, Issues 3-5, 4 April 2006. – P. 861-881.
7. Lu Chung-Jen. [Analytical study of the stability of a two-ball automatic balancer](#) [Текст] / Lu Chung-Jen, Wang Ming-Cheng, Huang Shih-Hsuan. // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2009. – V. 23. – Iss. 3. – P. 884-896.
8. Bolton J.N. Single- and dual-plane automatic balancing of an elastically mounted cylindrical rotor with considerations of coulomb friction and gravity: Diss. ... degree of Dr. of Philosophy in Engineering Mechanics [Текст] / J.N. Bolton – Blacksburg, Virginia, 2010. – 317 p.
9. Rodrigues D.J. [Two-plane automatic balancing: A symmetry breaking analysis](#) [Текст] / D.J. Rodrigues, A.R. Champneys, M.I. Friswell, R.E. Wilson // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2011. – V. 46. – Iss. 9. – P. 1139-1154.
10. Mousa Rezaee. Improving the working performance of automatic ball balancer by modifying its mechanism [Текст] / Mousa Rezaee, Reza Fathi. // Journal of Sound and Vibration. – Available online 29 August 2015.
11. Філімоніхін Г.Б. Методика складання диференціальних рівнянь руху роторних систем з автобалансирами і її застосування до системи ротор – масивний корпус – автобалансир [Текст] / Г.Б. Філімоніхін, В.В. Гончаров // Збірник наукових праць КНТУ. – 2009. – Вип. 22. – С. 357-363.
12. Филимоных Г.Б. Уравновешивание автобаланси́ром ротора в упруго-вязко закреплённом корпусе с неподвижной точкой [Текст] / Г.Б. Филимоных, В.В. Гончаров // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325, № 2. – С. 41-49.

Valery Honcharov, Assos. Prof., PhD phys. & math.

Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine

The minimization of the duration of the flow of the transition processes of rotor machine on the viscoelastic supports with one auto-balancer

Passive auto-balancers are used at balancing of many rotary machines. The investigations of transition processes upon the occurrence of auto-balancing of rotating machines with auto-balancers are absent practically at the moment.

In this work analytically investigated the duration of the flow of the transition processes upon the occurrence of auto-balancing in rotor machine in which the rotor is placed with the possibility to rotate around its longitudinal axis in a corps on viscoelastic supports and statically balanced by one auto-balancer with many corrective weights.

It is shown that the duration of the flow of the transition processes:

- a) depends on seven dimensionless parameters;
 - b) decreases with increasing of mass of corrective weights and with a significant increase:
 - elongation of the composite rotor (at great speeds of rotation);
 - of stiffness of supports of the corps for the long (at great speeds of rotation) and short (at low speeds of rotation) of the composite rotor;
 - of the speed of rotation for long and very short of the composite rotor;
 - c) decreases substantially at approaching of the speed of rotation of the rotor to its resonant speed by directly reduction of the speed of rotation or - increasing of resonant speed by increasing of the elongation of the composite rotor or of stiffness its supports;
 - d) decreases when: a significant removal of a point of suspension of AB from the center mass of the rotor, or approach to it for the long and spherical (at low speeds of rotation) of composite rotor; approximation of the point of suspension to its extreme value for short and spherical (at high speeds of rotation) of composite rotor.
- rotor, corps, imbalance, auto-balancer, transition processes, minimizing**

Одержано 10.11.15

УДК 631.354(872)

О.Ф. Говоров, ст. наук. співроб., канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха, Київська обл., Україна, aleksandr_govorov@ukr.net

Дисковий універсальний подрібнювач-розподілювач стебел рослин з регульованою шириною смуги розподілення подрібнених частинок

Обґрунтована технологічно-конструкційна схема універсального дискового подрібнювача-розподілювача усіх видів сільськогосподарських культур і пожнивних залишків, в тому числі і соломи із валків згідно з агротехнічними вимогами, котрий забезпечує регулювання ширини смуги розділення частинок подрібненої соломи із валків, в залежності від ширини захвату жатки комбайна, яким утворені валки.

платформа, регульовальний щиток, опорне колесо, секція, дисковий різальний апарат, тримач, шарнір, ніж, стебло рослин, пожнивні решітки

А.Ф. Говоров, ст. научн. сотр., канд. техн. наук

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», пгт. Глеваха, Киевская обл., Украина

Дисковый универсальный измельчитель-распределитель стеблей растений с регулируемой шириной полосы распределения измельченных частичек

© О.Ф. Говоров, 2015