

MODEL OF FUNCTIONING OF MACHINE FOR TECHNOLOGICAL MATERIAL INPUTS IN PRECISION AGRICULTURE

L. V. Aniskevych

Abstract. *At the present stage of development of agricultural machinery and technologies for crop production have increasingly used the technologies of precision agriculture. Agricultural machines, equipment for precision farming technologies can be divided into two fundamentally different, according to the criterion of using geoinformation classes: machinery with registration systems measuring parameters – recorders (mostly sweepers and technical means of field intelligence) and machines for the distribution of technological materials – implementers – this is mainly such machines as planters, fertilizer applicators, sprayers and so on. According to this, tasks and solves them on-board equipment of machines-registrars, implementers, also fundamentally different.*

The composed model of functioning of machine to make materials using the algorithm of the smoothing error components of noise intensity sensor's output. The increase in the coefficient K above this level leads to an increase of noise components of the signal which makes the system dynamically unstable. The value of the standard deviation SD of the difference between the actual rate of fertilizer application and the specified application rate was 18 kg/ha. Further improving systems to manage flows and out-flows of process materials, due to the fundamentally new schemes metering of process materials and the use of special algorithms to optimize the control law action.

Key words: *machine-distributor, material technology, operating model, simulation*

УДК 631.354.2

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕМПФЕРІВ СУХОГО ТЕРТЯ ДЛЯ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ НЕВРІВНОВАЖЕНОГО ГНУЧКОГО ВАЛА З НАСАДЖЕННЯМ БАРАБАНОМ. ЧАСТИНА II

В. С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: lovvs@ukr.net

Анотація. *Обґрунтований метод розрахунку оптимальних параметрів демпферів сухого тертя, які застосовуються для*

© В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко, 2017

гасіння небажаних коливань неврівноваженого гнучкого ротора з одним, насадженим на нього барабаном Демпфери сухого тертя використовуються для зменшення вібрацій роторних систем з насадженим на вал, що обертається барабаном, який включає критичні швидкості обертання останнього. Спеціальні демпфери сухого тертя суміщуються зазвичай з опорами. Дані демпфери суттєво знижують небажані коливання неврівноваженого гнучкого ротора з насадженим на нього барабаном, вимагають, на думку авторів даної роботи подальшого уточнення й вдосконалення.

Коли демпфери в'язкого тертя не можуть бути використані, з метою зниження амплітуд при критичних швидкостях можна використати демпфери сухого тертя.

У роботі наведена графічна залежність сили, діючої на фундамент (q), від частоти обертання ротора (β) за наявності демпфера сухого тертя. Дана графічна залежність дозволяє зрозуміти фізичний зміст ефекту демпферів сухого тертя, котрий полягає у тому, що демпфери вмикаються лише поза резонансних швидкостях ротора на пружних опорах.

Обґрунтована методика розрахунку демпферів сухого тертя, які задачі до гасіння коливань неврівноваженого гнучкого ротора з насадженим барабаном.

Отримані у роботі результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення інженерних методик розрахунку параметрів демпферів сухого тертя для гасіння коливань неврівноважених систем типу «ротор–барабан».

Ключові слова: розрахунок, оптимізація, параметри, демпфер, сухе тертя, гасіння, коливання, неврівноваженість, гнучкий ротор, барабан

Постановка проблеми. Для зменшення вібрацій у широкому діапазоні швидкостей обертання роторних систем з насадженим на вал, що обертається, барабаном, який включає критичні швидкості обертання останнього, доцільно використати спеціальні демпфери сухого тертя, які суміщуються зазвичай з опорами. Розрахунок основних параметрів «сухих» демпферів (або демпферів сухого тертя), які суттєво знижують небажані коливання неврівноваженого гнучкого ротора з насадженим на нього барабаном, вимагають, на думку авторів даної роботи подальшого уточнення й вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень. Вперше спеціальні демпфери, які суміщені з опорами, в'язкого та сухого тертя були запропоновані в роботах [1-3]. Методика розрахунку демпферів сухого тертя викладена у [4]. Проте існування режимів функціонування подібних демпферів, на думку авторів, вивчене недостатньо, зокрема, режими

з проковзуванням (чи без нього). Результати цитованих вище робіт будуть частково використані у даному дослідженні.

Мета досліджень полягає у обґрунтуванні методу розрахунку та оптимізації основних параметрів демпферів тертя, які призначені для гасіння небажаних коливань неврівноваженого гнучкого ротора з одним насадженим на нього барабаном. При цьому сам демпфер сухого тертя суміщений безпосередньо з кожною опорою ротора.

Результати досліджень. У тому випадку, коли демпфери в'язкого тертя не можуть бути використані, з метою зниження амплітуд при критичних швидкостях можна використати демпфери сухого тертя. Основними особливостями елементів сухого тертя є:

1) слабка залежність сили тертя від швидкості, що дозволяє при аналізі використати формулу Кулона-Амонтона:

$$F = \bar{\alpha} \cdot N \quad (1)$$

де: N – сила, з якою притиснені одна до одної поверхні; α – коефіцієнт, який залежить головним чином від матеріалу пар тертя;

2) існування у системах, які використовують сухе тертя, двох режимів:

а) елемент «відчинений» – можливе взаємне проковзування поверхонь, що контактують між собою (у цьому режимі сухе тертя не обмежує амплітуд при резонансі);

б) елемент «зачинений» – взаємне проковзування поверхонь відсутнє, що можливо у випадку, коли сила тертя у елементі буде перевищувати силу, яка передається через нього.

Врахування вказаних особливостей дає можливість за рахунок вибору величини затяжки демпфера уникнути резонансних станів системи, зображеної на рис. 1.

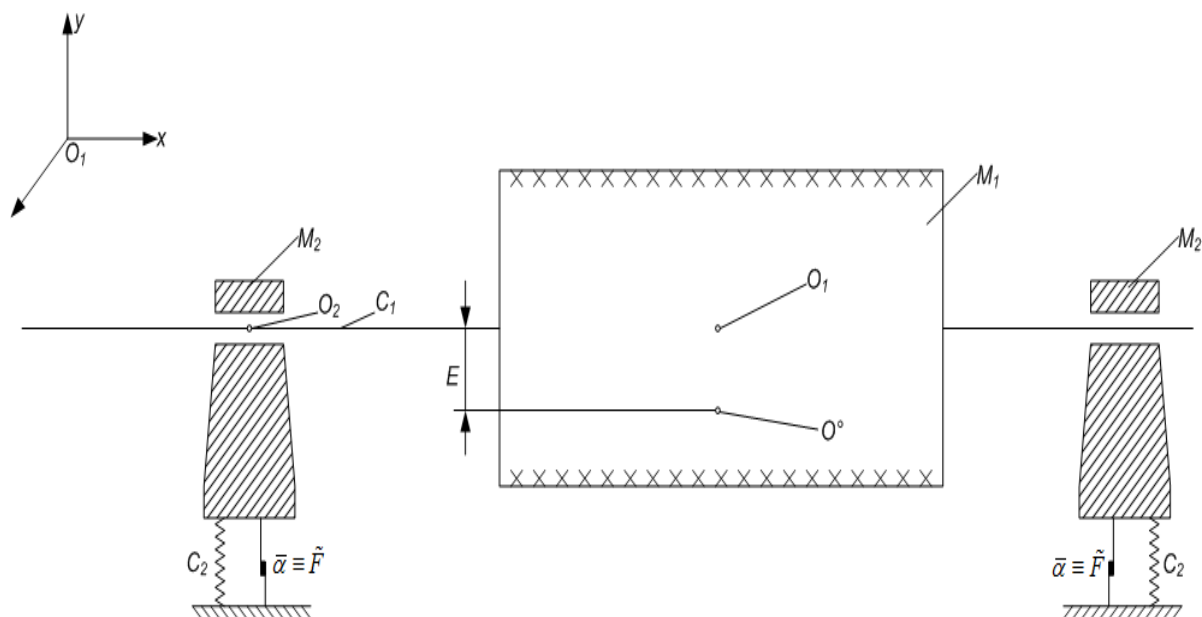


Рис. 1. Геометрія задачі.

Для зменшення резонансних коливань у системі «ротор барабан» саме ротор розміщений на двох однакових ізотропних пружнодемпферних опорах, кожна з котрих має масу M_2 , жорсткість C_2 , коефіцієнт демпфування сухого тертя: $\tilde{F} = \frac{F}{N} = \bar{\alpha}$; M_1 – маса ротора з насадженим барабаном; C_1 – його жорсткість.

«Спресовані» рівняння руху тільки для поступальних переміщень мають вид:

$$\begin{cases} M_1 \cdot \ddot{u}_1 + C_1 \cdot (u_1 - u_2) = M_1 \cdot E \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t}; \\ M_2 \cdot \ddot{u}_2 + C_2 \cdot u_2 + F \cdot \text{sign}(\dot{u}_2) + \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot (u_2 - u_1) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

де: u_1 та u_2 – переміщення відповідно барабану та його опор; $E = l_1 + i \cdot l_2$; $u_1 = u_{1y} + i \cdot u_{1z}$; $u_2 = u_{2y} + i \cdot u_{2z}$; $i^2 = -1$; l_1, l_2 – лінійні величини (вздовж вісей Oy, Oz), які характеризують параметри недосконалості ротора типу неврівноваженості; ω – швидкість обертання ротора; t – час.

Після нескладних перетворень рівняння системи (2) можна звести до двох наступних:

$$\begin{cases} u_1 = \frac{2}{C_1} \cdot \left[M_2 \cdot \ddot{u}_2 + C_2 \cdot u_2 + F_0 \cdot \text{sign}(\dot{u}_2) + \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot u_2 \right]; \\ \left[\frac{M_1 \cdot M_2}{C_1} \cdot u_2^{(IV)} + \ddot{u}_2 \cdot \left(M_1 \cdot \frac{C_2}{C_1} + \frac{M_1}{2} + M_2 \right) + C_2 \cdot u_2 + F \cdot \text{sign}(\dot{u}_2) \right] = \frac{1}{2} \cdot M_1 \cdot E \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t}. \end{cases} \quad (3)$$

У подальшому розглядатимемо випадок, коли:

$$\frac{u_2^{(IV)}}{\ddot{u}_2} \square \Omega^2 \cdot \left[\frac{M_1 \cdot C_2}{M_2 \cdot C_1} + \frac{M_1}{2 \cdot M_2} + 1 \right], \Omega^2 = \frac{C_1}{M_1}. \quad (4)$$

Тоді друге рівняння системи (3) спрощується й набуває вигляду:

$$\ddot{u}_2 \cdot \left(M_1 \cdot \frac{C_2}{C_1} + \frac{M_1}{2} + M_2 \right) + C_2 \cdot u_2 + F \cdot \text{sign}(\dot{u}_2) = \frac{1}{2} \cdot M_1 \cdot E \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t} \quad (5)$$

Введемо позначення:

$$\mu = \frac{M_2}{M_1}; \tilde{\alpha} = \frac{C_2}{C_1}; \beta = \frac{\omega}{\Omega}; D = \frac{2 \cdot F}{E \cdot C_1}, \quad (6)$$

де: F – сила затяжки кожного з демпферів.

Аналіз показує, що якщо параметр D обрати з умови:

$$D > D^* = \left| \frac{\beta_0^2}{1 - \beta_0^2} \right|, \quad (7)$$

де: β_0 – недемпфована власна частота системи (нормована на Ω) й визначається з рівняння:

$$(1 - \beta_0^2) \cdot (\tilde{\alpha} - \mu \cdot \beta_0^2) - \frac{1}{2} \cdot \beta_0^2 = 0, \quad (8)$$

Тоді у системі не буде резонансних станів. При розрахунку по формулі (7) беремо значення β_0 , котре призводить до більшого значення для D^* . З (7) видно, що D^* завжди більше одиниці. (рівняння (8) має два корені β_{01}, β_{02}).

На рис. 2 побудовані амплітудні криві сили, діючої на фундамент ($q = \frac{Q}{C_1 \cdot E}$, де Q – власне сила, діюча на фундамент), при $\mu = 0.1$, $\tilde{\alpha} = 0.1$ й для кількох значень параметру D ($D^* = 1.17$).

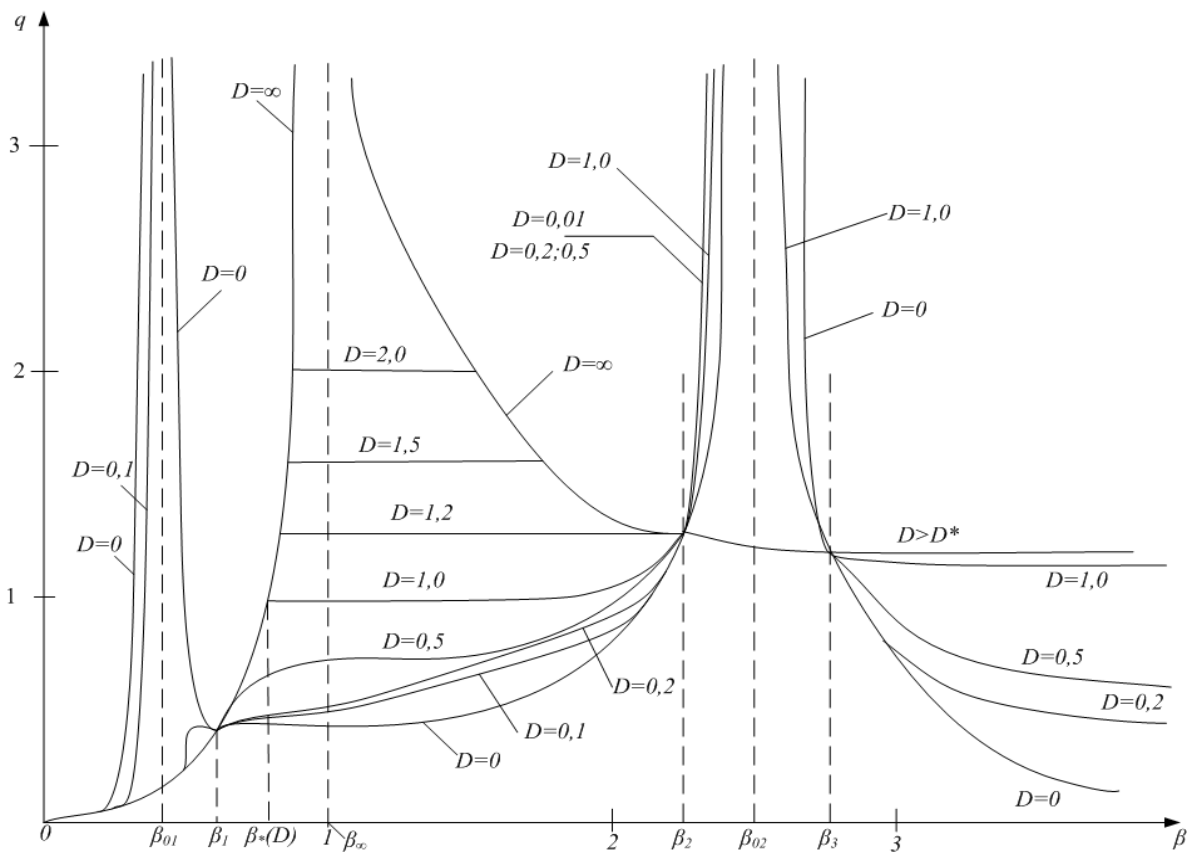


Рис. 2. Залежність сили, діючої на фундамент (q), від частоти обертання ротора (β) за наявності демпфера сухого тертя ($\beta_\infty = \beta|_{D \rightarrow \infty}$).

З рис. 2 випливає, що при $D > D^*$ резонансні стани відсутні. Демпфер сухого тертя при цьому працює у двох режимах: демпфер працює у діапазоні швидкостей $\beta_*(D) \dots \beta_2$; демпфер не працює в усьому іншому діапазоні швидкостей. Рис. 2 дозволяє зрозуміти фізичний зміст ефекту демпферів сухого тертя, котрий полягає у тому, що демпфери вмикаються лише поза резонансних швидкостей ротора на пружних опорах. Параметр D й жорсткість опор C_2 слід

обирати мінімально можливим, оскільки при цьому зменшуються сили, діючі на фундамент. Параметр D залежить від величини неврівноваженості. Тому, якщо ця величина заздалегідь невідома, тоді слід орієнтуватись на максимально можливу. При непередбаченому зростанні неврівноваженості зменшується параметр D , і якщо він стає меншим D^* , тоді можливі резонансні коливання на критичних швидкостях. Саме у цьому проявляються нелінійні властивості демпферів сухого тертя.

Для більш детального з'ясування меж функціонування демпфера сухого тертя, в яких виникають (чи ні) резонансні коливання на критичних швидкостях, слід детально проаналізувати рівняння (5) у наближенні (4), але це є предметом окремого дослідження.

Висновок. Обґрунтована методика розрахунку демпферів сухого тертя, які задачі до гасіння коливань неврівноваженого гнучкого ротора з насадженим барабаном. Отримані у роботі результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення інженерних методик розрахунку параметрів демпферів сухого тертя для гасіння коливань неврівноважених систем типу «ротор–барабан».

Список літератури

1. Григорьев Н. В. Нелинейные колебания элементов машин и сооружений. Москва. Машгиз. 1961. 250 с.
2. Сергеев С. И. Демпфирование механических колебаний. Москва. Физматиз. 1959. 270 с.
3. Позняк Э. Л., Космачев А. Н., Райхлина Б. Б. Колебания и прочность при переменных напряжениях. Москва. Наука. 1965. С. 53-79.
4. Вибрации в технике: справочник в 6-ти т. Москва. Машиностроение. 1980. Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. 1980. 544 с.
5. Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Ляшко А. П. Вплив неврівноваженості молотильного барабана зернозбирального комбайна на його коливання. Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль. 2016. Т. 79. № 3. С. 123–130.
6. Ловейкін В. С. Розрахунок оптимальних параметрів демпферів в'язкого тертя для гасіння коливань неврівноваженого гнучкого вала з одним барабаном. Частина I. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 273–281.

References

1. Hryhorev, N. V. (1961). Nonlinear oscillations of machine elements and constructions. Moscow. Mashhyz. 250.
2. Serheev, S. Y. (1959). Damping of mechanical oscillations. Moscow. Fyzmatyz. 270.
3. Poznyak, E. L., Kosmachev, A. N., Reichlina, B. B. (1965). Vibrations and strength at variable voltages. Nauka. Moscow. 53-79.

4. *Oscillations in technology* (1980). Handbook. In 6th volume. Ed. V.N. Chelomei. Mechanical Engineering. P. 3. Oscillations of Machines, Constructions and Their Elements, Ed. F. M. Dimentberg, K. S. Kolesnikov. Moscow. 544.
5. Loveikin V. S., Chovniuk Yu. V., Liashko A. P. (2016). Impact of unbalanced threshing drum of a combine harvester on its oscillation. Bulletin of Ternopil National Technical University. Ternopil. Vol. 79. 123–130.
6. Loveikin V. S., Chovniuk Yu. V., Liashko A. P. (2017). Calculation of optimal parameters of dampers of viscous friction for damping oscillations of unbalanced flexible shaft with one reel. Part I. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. 2017. Vol. 258. 273–281.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФЕРА СУХОГО ТРЕНИЯ ДЛЯ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО ГИБКОГО ВАЛА С НАСАЖДЕННЫМ БАРАБАНОМ. ЧАСТЬ II

В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко

Аннотация. *Обоснованный метод расчета оптимальных параметров демпферов сухого трения, применяются для тушения нежелательных колебаний неуравновешенного гибкого ротора с другом, насаженным на него барабаном Демпферы сухого трения используются для уменьшения вибраций роторных систем с насаженным на вращающийся вал барабаном, который включает критические скорости вращения последнего. Специальные демпферы сухого трения совмещаются обычно с опорами. Данные демпферы существенно снижают нежелательные колебания неуравновешенного гибкого ротора с насаженным на него барабаном, требуют, по мнению авторов данной работы дальнейшего уточнения и совершенствования.*

Когда демпферы вязкого трения не могут быть использованы с целью снижения амплитуд при критических скоростях можно использовать демпферы сухого трения.

В работе приведена графическая зависимость силы, действующей на фундамент (q), от частоты вращения ротора (β) при наличии демпфера сухого трения. Данная графическая зависимость позволяет понять физический смысл эффекта демпферов сухого трения, который заключается в том, что демпферы включаются только вне резонансных скоростях ротора на упругих опорах.

Обоснованная методика расчета демпферов сухого трения, задачи к гашению колебаний неуравновешенного гибкого ротора с насаженным барабаном.

Полученные в работе результаты могут быть в дальнейшем использованы для уточнения и совершенствования инженерных методик расчета параметров демпферов сухого трения для гашения колебаний неуравновешенных систем типа «ротор-барабан».

Ключевые слова: расчет, оптимизация, параметры, демпфер, сухое трение, тушения, колебания, неуравновешенность, гибкий ротор, барабан

**CALCULATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF DRY DAMPERS
FOR DAMPING OSCILLATIONS OF UNBALANCED FLEXIBLE
SHAFT WITH ONE REEL. PART II**

V. S. Loveykin, Yu. V. Chovnyuk, A. P. Lyashko

Abstract. *Method of calculating the optimal parameters of dry friction's damper of unbalanced shaft is substantiated. These dampers are used to reduce resonant vibrations of the rotors in a wide range of speeds. Dry friction dampers are used to reduce the vibrations of rotary systems with a drum that is loaded on a rotating shaft and includes the critical rotational speeds. Special dry-friction dampers are usually combined with supports. These dampers significantly reduce the undesirable vibrations of an unbalanced flexible rotor with a drum mounted on it, require, in the authors' opinion, further refinement and improvement.*

When viscous friction dampers cannot be used to reduce the amplitudes at critical speeds, dry-friction damping can be used.

The graph of the force acting on the foundation (q) on the rotational speed of the rotor (β) is shown in the work with a dry friction damper. This graphical dependence makes it possible to understand the physical meaning of the dry friction damping effect, which consists in the fact that the dampers are switched on only outside the resonant speeds of the rotor on elastic supports.

A well-founded technique for calculating dry-friction dampers, a problem for damping vibrations of an unbalanced flexible rotor with a mounted drum.

The results obtained can be further used to refine and improve the methods of engineering calculation of optimal parameters.

Key words: *calculation, optimization, parameters, damper, dry friction, quenching, oscillation, imbalance, flexible rotor, drum.*