

Дисипація механічної енергії при деформації пружних елементів вертикального ковшового транспортера (норії)

В статті розглянуте питання виникнення сил опору, що приводять до розсіювання (дисипації) механічної енергії при деформації пружних елементів норії. Показано на прикладі, як вибрати коефіцієнт опору при відсутності експериментальних даних.

норія, сили опору, розсіювання (дисипація), пружні елементи, коефіцієнт опору

Під час спроби побудови динамічної моделі технологічного процесу транспортування зерна вертикальними ковшами транспортерами (норіями) виникло ряд ускладнень пов'язаних з ідентифікацією перехідних процесів у передаточних ланцюгах технологічного процесу транспортування (рис.1). Тому, при побудові динамічної моделі роботи норії, необхідно, в першу чергу, врахувати пружність найбільш піддатливих елементів механічної системи [1, 2].



1,2,3...n – перехідні процеси, що впливають на продуктивність роботи норії;
Q - паспортна продуктивність; Q' - реальна продуктивність

Рисунок –1 Вплив процесів у передаточних ланцюгах на продуктивність роботи норії

В більшості випадків найбільш піддатливими є ланки передаточних механізмів. Врахування їх пружності при нехтуванні масами цих ланцюгів, є незначними, в порівнянні з масами ротора електродвигуна норії і ланцюгів виконавчого механізму. Такий підхід приводить до найпростішої двохмасної динамічної моделі пружної машини [2, 3].

Однією із складових, що приводять до розсіювання (дисипації) механічної енергії є сили опору. Дисипативні сили викликаються як внутрішнім тертям у матеріалі пружного елемента, так і тертям, що виникає на поверхні зіткнення деталей [2]. Дисипативні сили залежать від багатьох випадкових факторів, облік яких є дуже складним. Тому при введенні дисипативних сил у динамічну модель, звичайно обмежуються деякою сумарною оцінкою їхнього впливу, думаючи, що в першому наближенні, вони можуть бути враховані введенням сили опору, пропорційної швидкості деформації.

Нехай $\theta(t)$ – закон зміни кута закручування передавального механізму, приведеного до вихідної ланки двигуна. Припустимо, що крутний момент $M_k(t)$ зв'язаний з $\theta(t)$ співвідношенням

$$M_k = c\theta + b\dot{\theta}, \quad (1)$$

де b – коефіцієнт опору, величина якого вибирається на основі експериментальних даних;

c – жорсткість пружного елемента.

Для цього, змінюючи θ по гармонійному законі $\theta = \theta_0 \cos \omega(t)$, визначають експериментально залежність $M_k(\theta)$, яка при цьому приймає форму, показану на рис. 2.

Через наявність сили опору залежність $M_k(\theta)$ виявляється різною при $\dot{\theta} > 0$ і $\dot{\theta} < 0$; утвориться замкнута петля гістерезиса. Площа петлі

$$S = \oint M_k d\theta = \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} M_k[\theta(t)] \dot{\theta}(t) dt, \quad (2)$$

являє собою роботу обертаючого моменту за період, а оскільки робота консервативних пружних сил за період дорівнює нулю, вона дорівнює роботі дисипативних сил[2].

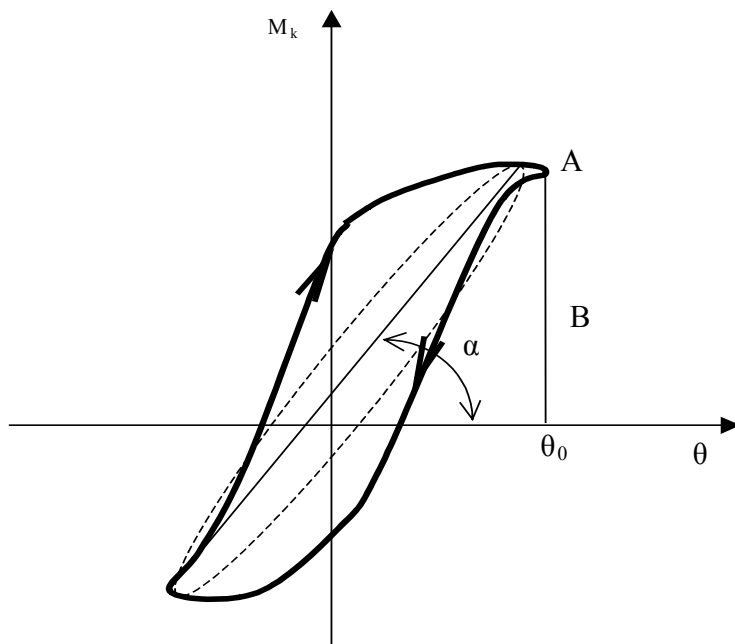


Рисунок 2 – Експериментальна залежність $M_k(\theta)$

При силі опору, пропорційній швидкості, петля має форму еліпса, показаного на рис.1, а площа в цьому випадку

$$S = \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (c\theta_0 \cos \omega t - b\omega\theta_0 \sin \omega t)(-b\omega\theta_0 \sin \omega t) dt = \pi b\omega\theta_0^2. \quad (3)$$

У реальній механічній системі через не лінійність дисипативних сил форма петлі відрізняється від еліптичної. У цьому випадку коефіцієнт b визначається з умови рівності площ реальної петлі і петлі, одержуваної при лінійно залежній від швидкості сили опору. Таким чином, величина еквівалентного коефіцієнта опору визначається зі співвідношення

$$b = \frac{S}{\pi\omega\theta_0^2}, \quad (4)$$

де S - площа петлі, отриманої при експерименті. При цьому величина коефіцієнта опору звичайно виявляється залежною від частоти й амплітуди коливального процесу.

При відсутності експериментальних даних величину b можна вибрати з наступних міркувань. При деформації механізму по гармонійному закону найбільша потенційна енергія пружної деформації

$$\pi_{\max} = \int_0^{\theta_0} c\theta d\theta = \frac{c\theta_0^2}{2}. \quad (5)$$

Вона визначається площею трикутника ОАВ на рис 1. Відношення площі петлі гістерезиса до максимуму потенційної енергії називається коефіцієнтом розсіювання Ψ (4) і (5) знайдемо вираз для коефіцієнта розсіювання Ψ

$$\Psi = \frac{S}{\pi_{\max}} = \frac{2\pi b\omega}{c}. \quad (6)$$

$$\text{Відкіля: } b = \frac{\Psi c}{2\pi\omega}. \quad (7)$$

Для передавальних механізмів значення Ψ на основі численних експериментальних даних може прийматися в межах

$$0,2 < \Psi < 0,6 \quad (8)$$

Тобто, величина b визначається зі співвідношення (7) у залежності від приведеної твердості механізму c . При цьому вона виявляється назад пропорційній частоті процесу ω , що відповідає наявним експериментальним даним. Разом з тим, отримані значення коефіцієнта опору можна ефективно використовувати тільки при аналізі гармонійних, чи близьких до гармонійних, процесів. У більш складних випадках застосовуються інші методи оцінки впливу дисипативних сил, розглянуті в [4].

Список літератури

1. Птушкин А.Т. , Новицкий О. А. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.; Агропромиздат 1985 . – 318 с.
2. Динамика машин и управление машинами: Справочник: / В.К. Асташев, В. И. Бабицкий, И. И. Вульсон и др.; Под ред. Г. В. Крейна.- М.:Машиностроение, 1988 – 240с.
3. Сидоренко В. В. , Минайленко Р. Н. , Помазан Л.В. Системы управления вертикальными ленточными элеваторами (нориями) на предприятиях зерноперерабатывающей промышленности
4. Асташев В.К. О влиянии высокочастотных вибраций на процессы пластического деформирования. – М.: Машиноведение. -1983.- №2 – С. 3-12.

В статье рассмотрен вопрос возникновения сил сопротивления, которые приводят к рассеиванию (диссипации) механической энергии при деформации упругих элементов механических систем (норий). Показано на примере, как выбрать коэффициент сопротивления при отсутствии экспериментальных данных.

In the article the question of origin of forces is considered resistances which result in dispersion (dissipations) of mechanical energy during deformation of resilient elements of the mechanical systems. Rotined on an example, how to choose the coefficient of resistance in default of experimental information.