

УДК 621.798

Костюк В.С., канд. техн. наук,

Костюк Є.В.,

Хваста М.М.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В ПРИВОДАХ МАШИН

Задача яка часто розв'язується у динаміці машин передбачає визначення результату впливу на вихідні параметри системи, тобто виконання перевірки фактичних значень на їх допустимість з точки зору міцності елементів системи. Вирішення такої задачі в певній мірі має свої обмеження у відношенні питань енергозбереження.

Розширення можливих варіантів енергозбереження відкриває використання так званої «чутливої» системи, що здатна реагувати на вихідні параметри. А тому розгляд зворотної задачі, а саме визначення які вхідні параметри потрібно задати, щоб отримати бажаний результат створює підґрунтя в пошуку можливих напрямів реалізації енергозбереження в механічних системах. В межах двомасової моделі бажаним результатом будемо вважати безударний режим руху веденої маси під час перехідного процесу. Такий режим можна вважати реалізованим за умови зміни прискорення за синусоїдальним законом. Необхідно визначити, при якому законі руху ведучої маси ведена маса буде рухатись за синусоїдальним законом. Також визначимо залежності, за якими потрібно задавати рушійну силу.

Розглянемо випадок горизонтального переміщення, наприклад, каретки робота із рулоном, тобто один з елементів робочого ходу. Така операція в циклограмі роботи машини обмежена часом T та шляхом S . Як і будь-яке інше переміщення означена операція передбачає комбінування усталеного руху та перехідних процесів. Частка тривалості перехідних процесів у повній тривалості операції переміщення визначається циклограмою і становить величину k .

Умови роботи системи. Операція горизонтального переміщення складається з відповідних етапів. Проте в контексті поставленої задачі сутність процесів буде мати дещо інший зміст. Окрім цього, на відміну від дослідження поведінки веденої маси, де застосовувався чисельний метод розв'язання диференційних рівнянь, розв'язання рівнянь руху зворотної задачі передбачається аналітичним шляхом. Тому для більшої зручності представлення інформації виконаємо з наступною нумерацією етапів:

0 – навантаження пружного елемента;

I – розгін веденої маси ;

II – усталений рух;

III – гальмування веденої маси;

IV – гальмування ведучої маси.

Для позначення кінематичних і динамічних параметрів ведучої та веденої мас на різних етапах будемо застосовувати подвійний індекс. Перша цифра позначатиме належність тій чи іншій масі, а друга – етап, якому відповідає цей параметр.

Нульовий етап строго не лімітований по часу і параметрам виконання, але має складати незначну частку технологічної операції переміщення, яка обмежена циклограмою роботи пристрою.

Перший етап передбачає рух ведучої маси до моменту, коли $P_{np} = P_{on}$. При цьому ведена маса нерухома. Нерівністю сили опору у стані спокою та під час руху нехтуємо. Оскільки заданим є закон руху веденої маси на I етапі, то пропустимо 0 етап і почнемо розв'язання задачі саме з розгону веденої маси.

З метою наочного отримання характеристик будемо використовувати числові значення параметрів системи, які відповідають реальній конструкції робота-укладчика і отримані як результати технологічного розрахунку.

I етап. Розгін. Початкові умови для веденої маси:

$$\begin{aligned}x_{2n} &= 0; & v_{2n} &= 0; \\ a_{2n} &= 0; & P_{np} &= P_{on}.\end{aligned}$$

При цьому $P_{np} = cx_{10}$, звідки

$$x_{10} = \frac{P_{np}}{c}.$$

Система рівнянь руху на I етапі має вигляд:

$$\begin{cases} m_1 a_{11} = P_{пу} - c(x_{11} - x_{21}); \\ m_2 a_{21} = c(x_{11} - x_{21}) - P_{on}. \end{cases} \quad (1)$$

З другого рівняння визначаємо x_{11}

$$x_{11} = x_{21} + \frac{(m_2 a_{21} + P_{on})}{c}. \quad (2)$$

В отриманому виразі x_{21} та a_{21} задані умовою задачі і описуються наступними залежностями в часі:

$$a_{21}(t) = A \sin(\omega t); \quad (3)$$

$$x_{21}(t) = -\frac{A}{\omega^2} \sin(\omega t) + \frac{A}{\omega} t, \quad (4)$$

де амплітуда A та частота ω визначаються наступними залежностями:

$$A = \frac{2\pi \cdot S}{k(2-k)T^2};$$

$$\omega = \frac{2\pi}{kT}.$$

Підставивши вирази (3) та (4) в рівняння (5) отримуємо залежність переміщення ведучої маси в часі

$$\begin{aligned}x_{11}(t) &= x_{21}(t) + \frac{(m_2 a_{21}(t) + P_{on})}{c} = \\ &= -\frac{A}{\omega^2} \sin(\omega t) + \frac{A}{\omega} t + \frac{(m_2 A \sin(\omega t) + P_{on})}{c} = \\ &= A \sin(\omega t) \left(\frac{m_2}{c} - \frac{1}{\omega^2} \right) + \frac{A}{\omega} t + \frac{P_{on}}{c}.\end{aligned} \quad (5)$$

Двічі продиференціювавши рівняння (5) отримуємо v_{11} та a_{11}

$$\begin{aligned} v_{11}(t) &= \frac{d}{dt} x_{11}(t) = -\frac{A}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{A}{\omega} + \frac{m_2 A \omega}{c} \cos(\omega t) = \\ &= A \cos(\omega t) \left(\frac{m_2 \omega}{c} - \frac{1}{\omega} \right) + \frac{A}{\omega}; \\ a_{11}(t) &= \frac{d^2}{dt^2} x_{11}(t) = A \sin(\omega t) - \frac{m_2 A \omega^2}{c} \sin(\omega t) = \\ &= A \sin(\omega t) \left(1 - \frac{m_2 \omega^2}{c} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Рівняння (6) є першою частиною розв'язку поставленої задачі. Воно описує закон руху ведучої маси при якому прискорення веденої буде змінюватись за синусоїдою.

З першого рівняння системи (1) знаходимо P_{pyu} і підставляємо в нього вирази (4), (5) та (6), отримуємо залежність рушійної сили в часі:

$$\begin{aligned} P_{pyu}^I(t) &= m_1 a_{11} + c(x_{11} - x_{21}) = m_1 a_{11} + c \left(x_{21} + \frac{(m_2 a_{21} + P_{on})}{c} - x_{21} \right) = \\ &= m_1 a_{11} + m_2 a_{21} + P_{on} = A \sin(\omega t) \left(m_1 \left(1 - \frac{m_2 \omega^2}{c} \right) + m_2 \right) + P_{on}. \end{aligned} \quad (7)$$

Висновок.

1. Забезпечення синусоїдального закону руху веденої маси на етапі розгону досягається за умови, що ведуча маса також має прискорюватись за синусоїдальним законом, проте з іншою амплітудою. Причому її початкова швидкість має відрізнятись від нуля, а кінцева має бути меншою за значення кінцевої швидкості веденої маси.

2. Реалізація потрібних характеристик динамічних параметрів системи із забезпеченням зміни прискорення з іншою амплітудою не створює особливих труднощів. Впровадження згаданого в реальній конструкції, наприклад, робота-укладальника відкриває можливості підвищення коефіцієнта корисної дії приводу за рахунок використання енергоресурсів у відповідності з поточним значенням технологічного опору.

Література

1. Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А., Васильківський К.В., Шевченко О.Ю. Моделювання процесів пакування. / За редакцією Соколенка А.І. / Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 272 с.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. – М.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
3. Load modeling for wide area power system: Original Research Article / Ping Ju, Chuan Qin, Feng Wu, Huiling Xie, Yan Ning – International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 33, Issue 4, May 2011, Pages 909-917.