

УДК 621.867.52

І.Й. Врублевський

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ОПТИМАЛЬНИЙ ЗА ШВИДКІСТЮ ЗАКОН ДВОКОМПОНЕНТНИХ КОЛИВАНЬ ВІБРАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПРИСТРОЇВ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Розглянуто процес швидкісного вібраційного транспортування з поздовжніми гармонічними коливаннями та нормальними коливаннями з кусково-сталім прискоренням. Такі двокомпонентні коливання забезпечують максимальну швидкість транспортування у пристроях з електромагнітним приводом. Виведено формули залежності швидкості вібротранспортування від безрозмірних параметрів. Розглянуто апроксимацію оптимальних нормальних коливань полігармонічними коливаннями. Наведено графіки залежності коефіцієнта швидкості від безрозмірних параметрів, що дозволяє визначити значення швидкості вібротранспортування при заданих амплітуді і частоті коливань та необхідному куті підйому.

Ключові слова: вібраційне транспортування, двокомпонентні коливання

Вступ

Постановка проблеми

На підприємствах серійного та масового виробництва для автоматизації допоміжних операцій широке застосування знайшли вібраційні транспортні пристрої. Особливої популярності вони набули у 70-80-ті роки минулого сторіччя, але пізніше з послабленням загального інтересу до автоматизації і роботизації виробництва, особливо на пострадянському просторі, про них, здається, забули. В наш час цей інтерес відновлюється, пропонується цілий спектр вібротранспортних засобів: віброконвейери, бункерні живильники, підійомники, вібраційні маніпулятори, які впроваджуються у виробництво, розробляються нові конструкції, проводяться наукові дослідження проблем, що виникають при розробці таких конструкцій. Причому найбільше поширення набули пристрої з електромагнітним приводом завдяки своїй економічності, надійності, довговічності. Безперечно, вібротранспортні пристрої можуть знайти широке застосування на підприємствах військової промисловості, наприклад, для механізації міжопераційного транспортування, сепарації, сортування і подачі штучних виробів на позиції обробки або складання в автоматичних лініях тощо. Використання вібротранспортних пристроїв ефективно при великій продуктивності, що забезпечується перш за все високою швидкістю переміщення виробів, яку можна визначити за формулою [1]

$$V = A\omega K,$$

де A – амплітуда коливань несучої площини у напрямку переміщення (поздовжніх коливань $x(t)$ у системі координат, пов'язаній з вібруючою поверхнею), ω – кругова частота коливань, t – час, K – безрозмірний

коефіцієнт швидкості, який залежить від декількох безрозмірних параметрів, і на цю залежність суттєво впливає закон коливань несучої площини робочого органу.

Як показали експериментальні дослідження, процес вібраційного переміщення штучних виробів достатньо точно описується математичною теорією руху масивної точки по шорсткій площині, нахилений до горизонту під кутом α , яка здійснює коливання у площині, перпендикулярній до площини переміщення. При найпростіших гармонічних прямолінійних коливаннях величини K доволі низькі, для їх підвищення використовують двокомпонентні коливання, коли поздовжні коливання і коливання в напрямку, перпендикулярному до несучої площини (нормальні коливання $y(t)$ з амплітудою B) збуджуються окремими віброзбуджувачами, тому різні за формою, амплітудою чи фазою.

Забезпечення максимальної величини коефіцієнта швидкості вібротранспортування є достатньо актуальною проблемою, тому що можливості збільшення амплітуди і частоти коливань вібраційних пристроїв для збільшення швидкості найчастіше обмежені.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Закон двокомпонентних коливань, оптимальних за швидкістю, досліджено у монографії [2], визначено, що такими є асиметричні коливання з кусково-сталім прискоренням, для нормальних коливань з двома ділянками протягом періоду коливань, для поздовжніх – з трьома. Проте у вібраційних пристроях з електромагнітним приводом, які працюють у білярезонансному режимі, реалізація такого закону практично неможлива. Крім того, як показали дослідження автора [3], оптимізація та ускладнення поздовжніх коливань дає менший приріст значення коефіцієнта швидкості порівняно з

оптимізацією нормальних коливань, які до того ж реалізуються значно далі від резонансу, що сприяє негармонічності їх закону. Нормальні коливання з кусково-сталім прискоренням розглядалися в [3] тільки як апроксимація полігармонічними коливаннями, залежність K від параметрів коливань у загальному випадку не досліджувалася.

Формулювання мети статті

Метою дослідження є збільшення швидкості вібро-транспортування при гармонічних поздовжніх коливаннях шляхом оптимізації нормальних коливань у вигляді закону з кусково-сталім прискоренням або полігармонічними коливаннями з великою кількістю гармонік. Для зменшення шуму і запобігання пошкодження виробів при транспортуванні необхідно забезпечити безвідривний режим руху – переміщення виробів без підкидування. При безвідривному вібротранспортуванні величина коефіцієнта швидкості K максимальна при параметрі перевантаження $\xi = \frac{\bar{y}'' \min \omega^2}{g \cos \alpha} = 1$, зале-

жить від параметрів кута нахилу $a = \frac{\tan \alpha}{f}$ і напрямку

вібрації $b = \frac{f \cdot B}{A}$, де f – коефіцієнт тертя, g – прискорення вільного падіння [3]. При швидкісному вібротранспортуванні $A \gg B$, величиною параметра напрямку вібрації можна знехтувати $b=0$. Таким чином, поставлена мета досягається дослідженням залежності K від a з максимально допустимою асиметрією нормальних коливань.

Виклад основного матеріалу

Оптимальний закон нормальних коливань – асиметричний закон з кусково-сталім прискоренням (рис. 1), який можна описати наступним чином [1,3]:

$$\begin{aligned} W &= -1 & (0 < \varphi < 3\pi/2 - \tau) \\ W &= m & (3\pi/2 - \tau < \varphi < 3\pi/2 + \tau) \\ W &= -1 & (3\pi/2 + \tau < \varphi < 2\pi) \end{aligned} \quad (1)$$

де $\tau = \pi/(1+m)$, $W = \frac{y'' \omega^2}{g \cos \alpha}$ – безрозмірне прискорення нормальних коливань у момент часу $\varphi = \omega t$.

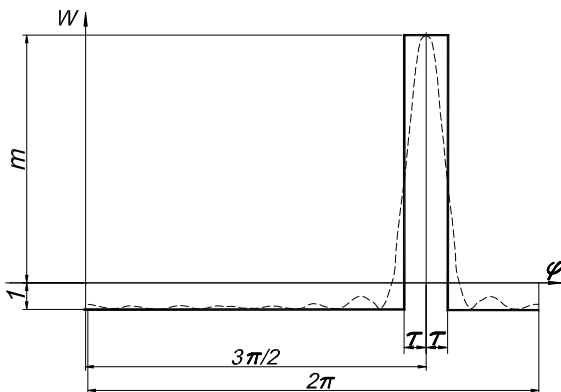


Рис. 1. Закон зміни нормальних коливань

При апроксимації коливань з кусково-сталім прискоренням полігармонічними коливаннями з n гармоніками $m=n$. Очевидно, що чим більше величина m (яка обмежена конструктивними і технологічними причинами), тим більша асиметрія нормальних коливань, і тим більше значення K можна отримати [3].

Доведено, що швидкісне вібраційне транспортування реалізується при двоетапному режимі переміщення, коли за період коливань відбувається два етапи руху матеріальної точки – етапи ковзання вперед і назад з двома миттєвими зупинками. При цьому з рівності імпульсів на етапах ковзання вперед і назад [4]

$$\begin{aligned} \int_{\varphi_1}^{3\pi/2-\tau} a d\varphi + \int_{3\pi/2-\tau}^{\varphi_2} (1+m+a) d\varphi &= \\ = \int_{\varphi_2}^{3\pi/2+\tau} (1+m-a) d\varphi - \int_{3\pi/2+\tau}^{2\pi+\varphi_1} a d\varphi, \end{aligned}$$

де φ_1 і φ_2 – моменти початку і кінця етапу ковзання вперед. Введемо позначення $\psi = (\varphi_2 - \varphi_1)/2$, враховуючи, що $\varphi_1 + \varphi_2 = \pi$, отримаємо

$$\psi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1+2m-a}{1+m} = \frac{\pi}{2} (1-a) + m(\pi - \psi). \quad (2)$$

У двоетапному режимі вібротранспортування з двома миттєвими зупинками коефіцієнт швидкості можна визначити за формулою [4]

$$K = \cos(\pi - \psi). \quad (3)$$

Підставивши (2) в (3), отримаємо

$$K = \cos \frac{\pi(1+a)}{2(1+m)}. \quad (4)$$

Графіки залежності коефіцієнта швидкості K від параметра кута нахилу a при різних значеннях m , побудований на основі формули (4), показано суцільними лініями на рис. 2.

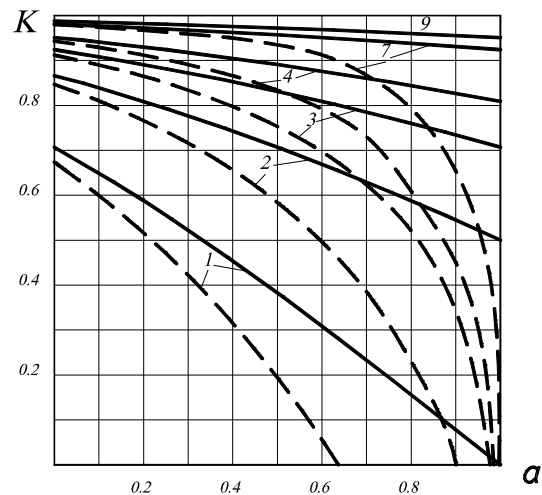


Рис. 2. Залежність коефіцієнта швидкості K від параметра кута нахилу a при різних значеннях m

Як видно з рис. 2, значення K збільшується зі збільшенням m , але з кожним подальшим зростанням цієї величини приріст значення K зменшується, стаючи більш суттєвим зі збільшенням a . При $m \rightarrow \infty$

значення $K \rightarrow 1$ при будь-яких значеннях a , тобто реалізується закон коливань, близький до оптимального. При $m > 2$ максимальний кут підйому дорівнює куту тертя ($a=1$), але при $a \geq 1$ переміщення вверх неможливе, тому при значеннях a , близьких до одиниці, транспортування нестабільне.

Двічі проінтегрувавши (1) з початковою умовою $W=0$ при $\varphi=0$, отримаємо

$$y = \frac{g \cos \alpha^2}{2} \quad (0 < \varphi < 3\pi/2 - \tau)$$

$$y = -\frac{mg \cos \alpha^2}{2} \quad (3\pi/2 - \tau < \varphi < 3\pi/2 + \tau)$$

$$y = \frac{g \cos \alpha^2}{2} \quad (3\pi/2 + \tau < \varphi < 2\pi)$$

Реалізувати такий закон у пристроях з електромагнітним приводом не так просто, його можна апроксимувати полігармонічними коливаннями з кількістю гармонік n , при цьому прискорення нормальних коливань змінюється за наступним законом [5]

$$W(\varphi) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin(i\alpha\varphi + \frac{\pi}{2}(i-1)), \quad (5)$$

де W_i – амплітуда безрозмірного прискорення i -ї гармоніки. На рис. 1 цей закон при $n=9$ показаний штриховою лінією.

При полігармонічних нормальних коливаннях величину ψ для визначення коефіцієнта швидкості K можна знайти як корінь рівняння [5]

$$\psi - (1-a)\frac{\pi}{2} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{i} \cdot (-1)^{i+1} \sin i\psi. \quad (6)$$

Графік правої частини рівняння (6) показано штриховою лінією при $n=7$ на рис. 3.

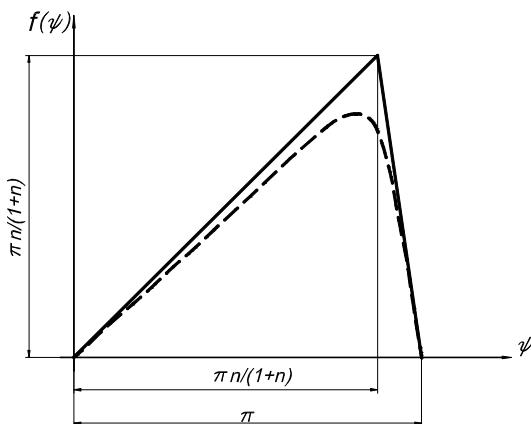


Рис. 3. Графік залежності $f(\psi)$ для визначення оптимальних амплітуд полігармонічних нормальних коливань

Для коливань з кусково-сталім прискоренням права частина (6)

$$f(\psi) = \psi \quad \left(0, \frac{\pi n}{1+m}\right),$$

$$f(\psi) = m(\pi - \psi) \quad \left(\frac{\pi n}{1+m}, \pi\right),$$

її графік показано на рис. 3 суцільною лінією, яка є дотичною в точках $\varphi=0$, $\varphi=\pi$ до відповідної кривої $f(\psi)$

для полігармонічних коливань при $n=m$. Ці графіки можна використовувати для наближеного визначення величин W_i і ψ для заданого n , які суттєво залежать від a . При $a = -1$ $\psi = \pi$ і значення амплітуд прискорення при гармоніках

$$W_i = \frac{2(1+n-i)}{1+n}. \quad (7)$$

Значення амплітуд за формулою (7) можна використовувати для розрахунків швидкості при невеликих кутах підйому ($a < 0,6 \dots 0,7$), при кутах підйому, близьких до граничних, величини W_i визначаються як корені системи $n+2$ нелінійних рівнянь [3].

На рис. 2 графіки залежності коефіцієнта швидкості K від параметра кута нахилу a при різних значеннях n для полігармонічних коливань показано штриховими лініями. Як бачимо, перевага коливань з кусково-сталім прискоренням над полігармонічними при $\alpha=0$ (горизонтальному транспортуванні) незначна і зі збільшенням кількості гармонік зменшується. Ця перевага достатньо відчутна при великих кутах нахилу

Висновки

Використання двокомпонентних нормальних коливань з кусково-сталім прискоренням і гармонічних поздовжніх коливань дозволяє суттєво підвищити значення коефіцієнта швидкості K порівняно з прямолінійними і двокомпонентними гармонічними (еліптичними) коливаннями, тобто суттєво підвищується швидкість вібротранспортування при тих же значеннях амплітуди і частоти коливань, та суттєво підвищується кут підйому виробів, що транспортуються.

Полігармонічні нормальні коливання, які легше реалізувати, ніж оптимальні коливання з кусково-сталім прискоренням, дають майже таку саму перевагу в швидкості при горизонтальному транспортуванні ($\alpha=0$), суттєво поступаючись оптимальним нормальним коливанням в швидкості при значних кутах підйому.

Список літератури

1. Вибрации в технике. Справочник. Т. 4. Вибрационные машины и процессы / Под ред. Э.Э. Лавендела. – Москва: Машиностроение, 1981.
2. Лавендел Э.Э. Синтез оптимальных вибромашин. – Рига: Зинатне. – 1970.
3. Врублевський І.Й. Оптимізація параметрів полігармонічних нормальних коливань під час безвідривного вібротранспортування // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". № 613. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: НУ "ЛП". 2008. – С. 89-92.
4. Дунаевецкий А.В. Оптимальный синтез параметров вибротранспортирования // Технология судостроения и судоремонта. – Калининград: Калининградский судостроительный институт. 1968. – С. 50-56.
5. Врублевський І.Й. Оптимальные параметры полигармонических нормальных колебаний при двухкомпонентном вибротранспортировании. – Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 5, – С. 157-160.

Рецензент: д.т.н., проф. Є.В. Мартин, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Оптимальный по скорости закон двухкомпонентных колебаний вибрационных транспортных устройств с электромагнитным приводом

И.И. Врублевский

Рассмотрен процесс скоростного вибрационного транспортирования при гармонических продольных колебаниях и нормальных колебаниях с кусочно-постоянным ускорением, которые являются оптимальными по скорости для устройств с электромагнитным приводом. Выведена формула зависимости скорости вибротранспортирования от безразмерных параметров. Рассмотрена аппроксимация оптимальных нормальных колебаний полигармоническими колебаниями. Приведены графики зависимости коэффициента скорости от безразмерных параметров, что позволяет определять значения скорости вибротранспортирования при заданных значениях амплитуды и частоты колебаний и необходимых углах подъёма.

Ключевые слова: вибрационное транспортирование, двухкомпонентные колебания

Optimal by Velocity Two-Component Oscillation Law of Vibratory Conveying Devices with the Electromagnetic Drive

I. Vrublevskyi

The vibratory conveying with harmonic longitudinal oscillations and normal oscillations with piecewise constant acceleration is investigated. Such oscillations provide the maximal conveying velocity in the vibratory devices with the electromagnetic drive. Formula of dependence of the conveying velocity on the dimensionless parameters is derived. Approximation of optimal normal oscillations by the polyharmonic oscillations is considered. Graphs of dependence of the velocity coefficient on the dimensionless parameters allow to determine the conveying velocity under the given amplitude and frequency of oscillations and track angle.

Key words: vibratory conveying, two-component oscillations.

УДК 519.876.5

В.І. Грабчак¹, В.М. Супрун², Ю.С. Бистрик²

¹Академія сухопутних військ, Львів

²Сумський державний університет, Суми

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

У статті розроблена математична модель оптимального розподілу засобів ураження по цілях противника. Обґрунтовано метод знаходження оптимального розв'язку задачі двостороннього бою між протидіючими неоднорідними угрупованнями на основі метода максимального елемента (градієнтний метод), наведено алгоритм, за допомогою якого розраховані показники ефективності ураження цілей противника. Розглянутий практичний приклад функціонування моделі оптимального розподілу засобів ураження.

Ключові слова: математична модель, оптимальні методи управління, метод максимального елемента, показники ефективності ураження.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури. Розвиток математичних методів дозволяє розв'язувати принципово нові задачі у військовій справі, які характерні складними залежностями, великою розмірністю і необхідністю враховувати велику кількість факторів. Особливо це стосується тих задач, у яких необхідно знаходити оптимальне рішення. У цьому випадку приходять до математичного моделювання, оскільки за допомогою математичної моделі можна за відомими вхідними даними отримати нові, раніше невідомі дані про досліджуваний об'єкт [1, 2].

Практичні задачі військової справи, які описуються математичними методами, можна розбити на дві групи

[2, 3]. До першої відносяться задачі визначення оптимальних методів управління технічними системами, знаходження оптимальних варіантів бойових дій, організація ремонту озброєння та інші. Друга група включає задачі, пов'язані з визначенням оптимальних характеристик перспективних систем озброєння і військової техніки, які розробляються. До класу таких задач відносяться так звані задачі розподілу, які зводяться до того, що необхідно знайти такий розподіл ресурсів за операціями, при якому або мінімізуються загальні витрати, або максимізується деяка міра ефективності [2, 3].

При математичній постановці задачі оптимізації використовується поняття критерію оптимальності