

УДК 621.867.52

І.Й. Врублевський

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ТОЧНІСТЬ НАБЛИЖЕНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛІПТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ПІД ЧАС ШВИДКІСНОГО ВІБРОТРАНСПОРТУВАННЯ

Досліджено точність обчислення за допомогою простих наближених формул параметрів еліптичних коливань під час швидкісного вібраційного транспортування: відношення амплітуд складових коливань, кута зсуву фаз між ними, які забезпечують максимум швидкості переміщення, а також максимальний кут підйому матеріалу. Показано, при яких значеннях параметрів розрахунки дають достатню для практики точність.

Ключові слова: вібраційне транспортування, еліптичні коливання.

Постановка проблеми

Вібраційні транспортні пристрої (конвеєри, бункерні живильники, підйомники, маніпулятори) знайшли широке застосування для автоматизації допоміжних операцій, таких як подача та орієнтація штучних виробів в автоматичних лініях, міжопераційного транспортування, живлення гнучких роботизованих систем, у т.ч. на підприємствах військової промисловості. Для збільшення продуктивності цих пристроїв велике значення має забезпечення високої швидкості переміщення виробів, яку в рамках теорії руху масивної точки по віброуючій шорсткій поверхні визначають за формулою [1]

$$V = A\omega K,$$

де A – амплітуда коливань несучої поверхні у напрямку переміщення (поздовжніх коливань), ω – кругова частота коливань, K – безрозмірний коефіцієнт швидкості, який залежить від декількох безрозмірних параметрів, а саме a – параметр кута нахилу, b – параметр напрямку вібрації, w – параметр перевантаження:

$$a = \frac{\tan \alpha}{f}, \quad b = \frac{f \cdot B}{A}, \quad w = \frac{B\omega^2}{g \cos \alpha},$$

де α – кут підйому матеріалу, що транспортується, відносно горизонту, f – коефіцієнт тертя, B – амплітуда коливань у напрямку, перпендикулярному переміщенню матеріалу (нормальних коливань), g – прискорення вільного падіння. Збільшення амплітуди і частоти коливань вібраційних пристроїв, як правило, обмежено конструктивними і технологічними причинами, тому велике значення має досягнення максимальної величини K . Для цього доволі ефективним є використання еліптичних коливань робочого органу, які реалізуються при випередженні по фазі на кут ε поздовжніх гармонічних коливань відносно

нормальних коливань. І хоча вібротранспортні пристрої з еліптичними коливаннями конструктивно дещо складніші від найпростіших пристроїв з прямолінійними коливаннями (коли складові коливань синфазні), їх переваги у швидкості і кутах підйому беззаперечні. Але ці переваги можливі тільки при відповідному співвідношенні параметрів коливань, тому обчислення їх оптимальних значень є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Залежність коефіцієнта швидкості від параметрів еліптичних коливань детально досліджена у дисертації автора [2], отримано ряд графіків для визначення оптимальних за швидкістю значень параметрів коливань, зокрема, значень кутів зсуву фаз. У роботі [3] за допомогою інтерполяції отриманих графіків виведено наближені формули для визначення коефіцієнта швидкості вібротранспортування та оптимального за швидкістю кута зсуву фаз в залежності від співвідношення параметрів коливань. Але невизначеною лишається точність цих формул при відхиленні значень параметрів еліптичних коливань від оптимальних. Отримані формули дійсні на межі безвідривного режиму переміщення ($w=1$), який дозволяє транспортувати крихкі деталі без їх ушкодження або уникнути суттєвий шум, при горизонтальному переміщенні та транспортуванні вверх. Викликає певний інтерес дослідження цієї залежності при інших значеннях параметра перевантаження w та транспортуванні вниз.

Формулювання мети статті

Дослідження ставить метою дати оцінку придатності наближених формул для визначення швидкості вібротранспортування та оптимального кута зсуву фаз в залежності від параметрів еліптичних коливань, порівняння наближених

значень з точними, отриманими методом поетапного інтегрування та визначення меж вхідних значень параметрів, при яких ця точність достатня для інженерної практики.

Виклад основного матеріалу

При еліптичних коливаннях робочого органу вібротранспортного пристрою коефіцієнт швидкості K залежить від кута зсуву фаз ε (рис. 1), максимум досягається при куті $\varepsilon = \varepsilon_0$, який називають оптимальним кутом зсуву фаз, величина якого залежить від комбінації значень a , b і w , причому $0 \leq \varepsilon_0 < 90^\circ$.

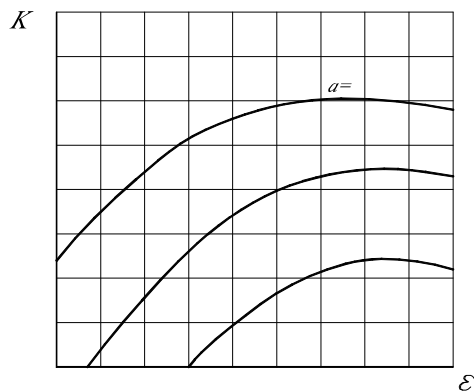


Рис. 1. Залежність коефіцієнта швидкості K від кута зсуву фаз ε при $b=0,1$; $w = 0,9$ і різних значеннях a

Як видно з рис. 1, на ділянці значень ε , близьких до ε_0 , зі зміною аргумента значення K змінюється несуттєво, тоді як при значному відхиленні від ε_0 значення K суттєво змінюються при невеликій зміні ε і можуть навіть поміняти знак, тобто змінюється напрямок переміщення. Величина K збільшується зі збільшенням w і зі зменшенням a , вплив b під час швидкісного транспортування з великими поздовжніми амплітудами ($b \rightarrow 0$) незначний. Величина a задається кутом підйому α , а величина w обмежена режимами транспортування: для безвідривних режимів (транспортуванні деталей без підкидування) $w = 1$, для транспортування сталевих деталей по сталевому лотку з частотою 25 Гц $w=1,2$, з частотою 50 Гц – $w=1,6$ [4].

На основі аналізу графіків, отриманих методом поетапного інтегрування [2], та їх інтерполяції автором виведено наближену формулу залежності коефіцієнта швидкості від параметра кута нахилу a та параметра напрямку вібрації b при $w = 1$ (тобто під час безвідривного транспортування) [3]

$$K = (1 - b^2) \sin(\sqrt{3 - \pi \cdot a(1 - b^2)} - 1). \quad (1)$$

При цьому оптимальне за швидкістю значення кута зсуву фаз у градусах

$$\varepsilon_0 = 90 - 25b \cdot (10 - 7a). \quad (2)$$

При достатньо інтенсивних горизонтальних коливаннях без підйому $a=0$, $b \rightarrow 0$, і максимальна © І.Й. Врублевський

величина коефіцієнта швидкості $K = \sin(\sqrt{3} - 1) \approx 0,67$, а кут зсуву фаз $\varepsilon_0 = 90^\circ$.

З метою виведення наближених формул для обчислення коефіцієнта швидкості K при інших значеннях w були виконані його розрахунки точним методом поетапного інтегрування за допомогою комп'ютерної математичної системи MathCAD, з використанням програми розв'язання нелінійних рівнянь чисельними методами [5]. Розрахунки було виконано не тільки для додатних кутів α – транспортуванні вверх ($0 \leq a \leq 1$), а й переміщенні вниз ($-1 \leq a \leq 0$). На рис. 2 показано графіки залежності K від a при $b=0,01$ і різних значеннях w .

На всіх наведених у статті рисунках суцільними лініями показано графіки, отримані за допомогою точного метода поетапного інтегрування [2,5], штриховими лініями – графіки, побудовані за допомогою отриманих наближених формул. Графіки, побудовані в математичній системі MathCAD, було імпортовано в графічну комп'ютерну систему AutoCAD і для кращої наочності наведено сплайнами. Зміна параметра напрямку вібрації у межах $0,001 < b < 0,1$ несуттєво впливає на K , але впливає на величину оптимального кута зсуву фаз ε_0 .

Для розрахунків величини K і ε_0 під час транспортування з підкидуванням ($w > 1$) завдяки тому, що протягом періоду коливань з'являється етап польоту, необхідно враховувати явище пружного удару – вводити додаткові параметри (коефіцієнти ударного тертя, відновлення), значення яких визначити експериментально доволі складно. Як показали експериментальні дослідження [4], нехтування пружним ударом часто дає результати, ближчі до експериментальних, ніж неточне завдання параметрів удару, чисельні значення яких, як правило, заздалегідь невідомі. Представлені на рис. 2 графіки залежності K від a при $w=1,2$ і $w=1,5$ побудовані за розрахунками, в яких удар вважається непружним.

Шляхом інтерполяції отриманих графіків формулу (1) представлено у наступному вигляді

$$K = (1 - b^2) \sin(\sqrt{3 - \pi \cdot a(1 - b^2)} - 1) - 0,35^{\sqrt{w}} (1 - w)(1 + a)^2. \quad (3)$$

Формула (2) виведена шляхом лінійної інтерполяції графіків [3], але дослідження графіків, отриманих точним методом (рис. 3-5), показує, що вони дещо відрізняються від прямих ліній, їх можна точніше апроксимувати параболою, а формулу (2) – уточнити за допомогою параболічної інтерполяції. В результаті такої інтерполяції при різних значеннях w отримано наближену формулу

$$\varepsilon_0 = 90 - 25b \cdot (9 - 11a + 4.5a^2 + 1/w^2) \quad (4)$$

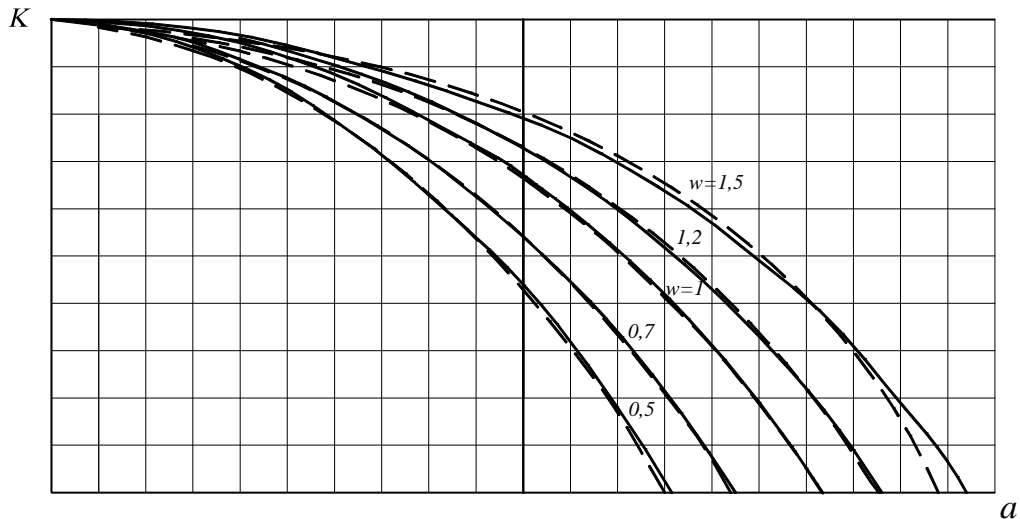


Рис. 2. Залежність коефіцієнта швидкості K від параметра кута нахилу a при $b=0,01$ і різних значеннях параметра перевантаження w

Графіки залежності оптимального кута зсуву фаз ε_0 від параметра кута підйому a при різних значеннях параметра напрямку вібрації b та параметра перевантаження w показано на рис. 3-5.

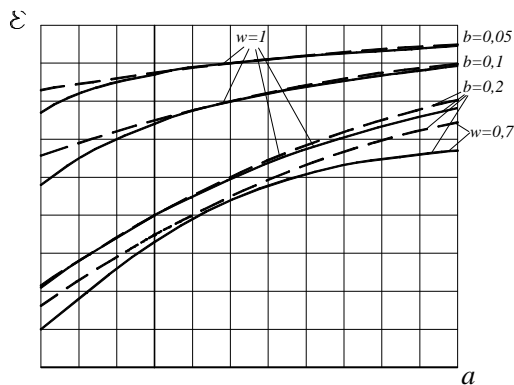


Рис. 3. Залежність оптимального кута зсуву фаз ε_0 від параметра кута нахилу a при $b=0,05; 0,1; 0,2$ і різних значеннях параметра перевантаження w

Порівняння на графіках кривих, побудованих з використанням наближених формул (3) і (4), з точними значеннями показує непогане співпадання кривих при $b < 0,2$, $w > 0,7$, $a \geq 0$. При $a < 0$ (транспортуванні вниз) величина оптимального кута ε_0 різко зменшується зі зменшенням a , і похибка наближеної формули (4) збільшується. Перевага еліптичних коливань у швидкості над прямолінійними при $a < 0$ незначна, до того ж для підвищення швидкості в цьому випадку майже завжди можна збільшити кут нахилу вниз. Тому використання еліптичних коливань при транспортуванні вниз недоцільне.

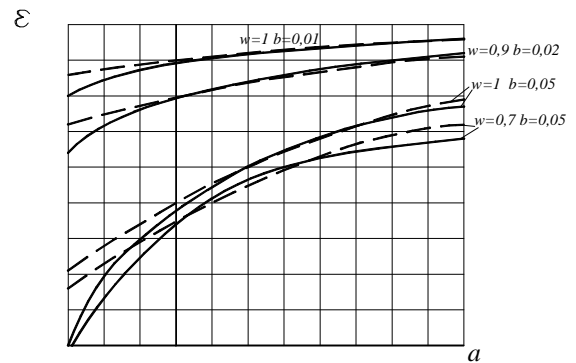


Рис. 4. Залежність оптимального кута зсуву фаз ε_0 від параметра кута нахилу a при $b=0,01; 0,02; 0,05$ і різних значеннях параметра перевантаження w

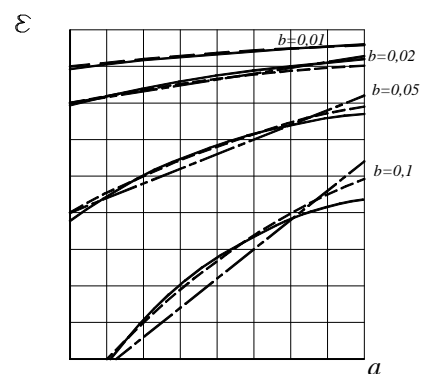


Рис. 5. Залежність оптимального кута зсуву фаз ε_0 від параметра кута нахилу a при $w=1$ і різних значеннях параметра напрямку вібрації b

Розрахунки параметрів при $w < 1$, $a < 0$ мають швидше теоретичне, ніж практичне значення, при $w < 0,5 \dots 0,7$ різко зменшуються швидкість і кути

підйому. При $1 < w < 1,5$ величина ε_0 майже не змінюється зі зміною w , а при $w > 1,6$ навіть зменшується, і формула (4) не дає належних результатів. Якщо обмежитися діапазоном $0 \leq a < 0,35$, $1 < w < 1,5$, параболічні криві можна апроксимувати прямими, а формулу (4) – представити у спрощеному вигляді

$$\varepsilon_0 = 90 - 50b \cdot (5 - 4a). \quad (5)$$

На рис. 5 криві, порашовані за формулою (4), показано штриховими лініями, а за формулою (5) – штрих-пунктирними прямими. Для значень параметрів, які використовуються на практиці у швидкісних вібротранспортних засобах ($0 \leq a < 0,35$; $0,01 < b < 0,1$; $1 \leq w < 1,5$) максимальне відхилення значень ε_0 , порашованих за формулами (3) і (4), від точних значень не перевищує 2° , а для більшості значень – менше 1° . Така похибка призведе до зменшення величини коефіцієнта швидкості K не більше, ніж на $0,01$. В свою чергу, максимальне відхилення величини коефіцієнта швидкості K , порашована в межах $0,5 \leq w < 1,5$ за формулою (2), від значень, порашованих точними методами, не перевищує $0,025$, а в діапазоні $0,7 \leq w < 1,2 - 0,01$.

Висновки

Порівняння значень коефіцієнта швидкості K і оптимального за швидкістю кута зсуву фаз ε_0 , порашованих за виведеними автором наближеними формулами, зі значеннями, визначеними точним методом поетапного інтегрування, дозволяє зробити наступні висновки. Для значень параметрів, які використовуються на практиці (а саме параметра кута нахилу $0 \leq a < 0,35$; параметра напрямку вібрації $0,01 < b < 0,1$; параметра перевантаження $1 \leq w < 1,5$), запропоновані наближені формули розрахунку

швидкості вібраційного транспортування, а також інших параметрів еліптичних коливань (оптимальний кут зсуву фаз, відношення амплітуд складових коливань, можливий кут підйому), дають точність, цілком достатню для практичного використання.

Список літератури

1. *Вибрації в техніці. Справочник. Т. 4. Вибрационные машины и процессы / [Под ред. Э.Э. Лавендела]. – Москва: Машиностроение, 1981.*
2. *Врублевский И.И. Разработка и исследование вибрационных устройств, осуществляющих организацию рабочей среды роботосистем. – Автореферат диссертации к.т.н. – Каунас: Каунас. политех. ин-т. – 1986.*
3. *Врублевський І.Й. Наближені обчислення швидкості вібротранспортування та кута зсуву фаз при еліптичних коливаннях // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – № 679. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2010. – С. 45-48.*
4. *Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання: – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2004.*
5. *Врублевський І.Й. Визначення швидкості вібраційного транспортування при еліптичних коливаннях за допомогою комп'ютерного редактора MathCAD // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – № 480. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003, с. 21-23.*

Рецензент: д.т.н., проф. І.С. Афтаназів, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри нарисної геометрії і графіки, м. Львів.

ТОЧНОСТЬ ПРИБЛИЖЁННОГО РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ СКОРОСТНОМ ВИБРОТРАНСПОРТИРОВАНИИ

И.И. Врублевский

Исследована точность вычисления с помощью простых приближенных формул параметров эллиптических колебаний при скоростном вибрационном транспортировании: отношения амплитуд составляющих колебаний, угла сдвига фаз между ними, обеспечивающими максимум скорости перемещения, а также максимальный угол подъема транспортируемого материала. Показано, при каких значениях параметров расчёты дают необходимую для практики точность.

Ключевые слова: *вибрационное транспортирование, эллиптические колебания*

THE ACCURACY OF THE APPROXIMATE CALCULATION OF ELLIPTICAL OSCILLATIONS PARAMETERS DURING THE HIGH-SPEED VIBRATORY CONVEYING

I.Y. Vrublevsky

The methods of optimum values of elliptical oscillations parameters calculating are elaborated. It is shown that the approximate formulas allow calculating the vibratory conveying velocity, track vibration amplitudes, the phase difference angle, track angle with the sufficient precision for engineering practice.

Key words: *vibratory conveying, elliptical oscillations*