

УДК 621.867.52  
І.Й. ВРУБЛЕВСЬКИЙ, С.В. СИЧ

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра нарисної геометрії та графіки

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОТРАНСПОРТУВАННЯ ПРИ ЕЛІПТИЧНИХ КОЛИВАННЯХ МЕТОДОМ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

© Врублевський І.Й., Сич С.В., 2005

*Розглянуто вплив параметрів еліптичних коливань на швидкість вібротранспортування у вигляді геометричної поверхні, на якій положення точки визначає коефіцієнт швидкості, а її колір – оптимальний кут зсуву фаз.*

*There are considered the parameters of elliptical vibrations influence on conveying velocity by mapping the surface, in which the position of a point represents the coefficient of velocity and the colour of a point represents the optimal angle of phase difference.*

**Вступ.** Вібраційні конвеєри та живильники широко застосовуються у виробництві для міжопераційного транспортування, орієнтації деталей, їх накопичування та касетування тощо. Порівняно з прямолінійними коливаннями еліптичні коливання робочого органу вібромашини дають змогу суттєво підвищити швидкість транспортування деталей та кут їхнього підйому, особливо у безвідривних режимах переміщення. Але реалізувати ці переваги можна тільки за дотримання раціональних співвідношень між параметрами вібротранспортування.

**Постановка проблеми.** Як показали експериментальні дослідження, процес вібраційного транспортування штучних виробів достатньо точно описують закон руху матеріальної точки на площині, яка здійснює періодичні коливання за певним законом [1]. Найпростіші, а тому найпоширеніші у виробництві вібротранспортні машини з гармонічними коливаннями, коли несуча площина, нахилена під кутом  $\alpha$  до горизонту, здійснює прямолінійні коливання під кутом  $\beta$  до площини. Якщо площині задати незалежні гармонічні коливання у напрямку переміщення та у напрямку по нормалі до площини зі зсувом за фазою на кут  $\varepsilon$ , то вона коливатиметься по еліпсу, що лежить в площині, перпендикулярній напрямку та площині транспортування. У вібраційних бункерних живильниках та підйомниках вироби переміщують, як правило, поверхнею гелікоїда, а не площиною, оскільки амплітуди коливань незрівнянно менші за радіус переміщення, процес транспортування в них можна описувати тими самими законами, що і на площині. Зі зміною кута  $\varepsilon$  за тих самих амплітуд коливань змінюється форма еліпса і завдяки перерозподілу дії сили тертя на етапах ковзання деталі вперед і назад у межах періоду коливань, суттєво змінюється середня швидкість транспортування  $v$ , досягаючи максимальної величини за оптимального кута  $\varepsilon = \varepsilon_0$ , значення якого залежить від співвідношення між параметрами коливань. Змінюючи кут  $\varepsilon$ , швидкість  $v$  можна і зменшити порівняно з прямолінійними коливаннями ( $\varepsilon = 0$ ) аж до від’ємних значень, тобто еліптичні коливання дають можливість здійснювати реверс транспортування. Отже, для реалізації переваг вібротранспортування з еліптичними коливаннями необхідно попередньо правильно розрахувати значення їхніх параметрів.

**Аналіз останніх досліджень.** Процес переміщення матеріальної точки на вібруючій поверхні розглянуто в багатьох наукових роботах, теоретичні положення наведено у монографії [2]. Вплив на швидкість параметрів вібротранспортування під час еліптичних коливань досліджено главу кандидатської дисертації [3], де подано також і детальний огляд існуючої на той час літератури з цього питання. Оптимізацію швидкості вібротранспортування  $v$  розглядали у вигляді залежності

$$K_v = K_v(K_\alpha, K_\beta, K_\xi) \quad (1)$$

безрозмірного коефіцієнта швидкості  $K_v = v / A_x \cdot \omega$  (де  $A_x$  – амплітуда поздовжніх коливань,  $\omega$  – кругова частота коливань) від параметра кута нахилу  $K_\alpha$ , параметра кута вібрації  $K_\beta$ , параметра перевантаження  $K_\xi$ , які визначають за такими формулами:

$$K_\alpha = \tan \alpha / f, \quad K_\beta = \cot \beta / f = A_x / A_y f, \quad K_\xi = \omega^2 A_y / g \cos \alpha, \quad (2)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя,  $A_y$  – амплітуда нормальних коливань,  $g$  – прискорення вільного падіння. Залежності величини  $K_v$  від параметрів коливань наведено у вигляді графіків сімейств кривих, які демонструють їхню взаємну залежність та взаємовплив.

Бурхливий розвиток обчислювальної техніки, особливо персональних комп'ютерів, дав змогу значно спростити розв'язання математичних рівнянь, які описують вібротранспортні процеси, та подати результати обчислень у зручнішій формі. У роботі [4] запропоновано залежності між параметрами вібротранспортування відображати не у вигляді сімейства кривих, а у вигляді поверхонь. Це і збільшує кількість параметрів, взаємний вплив яких аналізують, і підвищує наочність відображення отриманих результатів.

**Постановка задачі.** Геометрична поверхня дає змогу достатньо наочно відобразити залежність якоїсь фізичної величини від двох параметрів. Збільшуючи кількість параметрів або кількість функцій, що підлягають аналізу, необхідно звертатися до складніших геометричних образів: поверхонь у багатовимірному просторі, конгруенцій, гіперповерхонь. Однак досягти наочності відображення таких образів значно складніше. Розглядаючи багатопараметричні залежності, у роботі [5] запропоновано одну з функцій, яка підлягає аналізу, подавати не у вигляді координати точки поверхні, а у вигляді кольорів точки, палітра яких відповідає певній системі чисел (наприклад, *RGB* або *HSV*). А якщо кожний колір розглядати як комбінацію трьох простих кольорів (або, як в системі *HSV*, комбінацію величин: відтінок, насиченість, яскравість), то кількість параметрів, одночасно поданих на одній поверхні, ще зросте. Оскільки максимуму величини  $K_v$  досягають за раціонального співвідношення між параметрами кута нахилу  $K_\alpha$ , кута вібрації  $K_\beta$ , перевантаження  $K_\xi$ , та за значення кута  $\varepsilon_0 \in (0, \pi/2)$ , величина якого залежить від тих самих параметрів, достатньо привабливою видається можливість одночасно відобразити вплив параметрів, які визначають за формулами (2), і величини яких задаються абсцисою і ординатою горизонтальної площини, на  $K_v$ , величина якого задає аплікату точки поверхні, та  $\varepsilon_0$ , величина якого задає колір цієї ж точки.

**Виклад основного матеріалу.** Для обчислення значень функції (1) у середовищі комп'ютерної системи MathCAD розроблено програму, яка видає матрицю величин  $K_v$ , номери рядків і стовпців якої відповідають змінним значенням двох параметрів (2) за постійного значення третього. Програмою береться до уваги тільки один режим безвідривного переміщення (режим 2 за класифікацією, прийнятою в [2], – режим з двома миттєвими зупинками між етапами ковзання вперед і назад у межах періода коливань), тому що саме він реалізується у швидкісних вібротранспортних машинах, коли  $A_x \gg A_y$  ( $K_\beta > 2.5$ ). Максимальні величини амплітуд  $A_x$  у найшвидкісніших бункерних живильниках визначають максимальне значення  $K_\beta \approx 100$ .

Найбільша швидкість транспортування у безвідривних режимах реалізується за  $K_\xi \approx 1$ , перевищення цього значення призводить до режимів з підкидуванням. Тому з практичної точки зору найцікавіше дослідити залежність  $K_v$  від  $K_\alpha$  і  $K_\beta$  при  $K_\xi = 1$ . Згідно з результатами [3], вібропереміщення догори здійснюється при  $0 < K_\alpha < 0.64$ . Цікавим для практики видається також забезпечення максимальної швидкості транспортування донизу (значення  $K_\alpha < 0$  у роботі [3] не розглядали). У розробленій програмі значення параметрів задають у межах:  $K_\alpha \in [-0.4, 0.7]$  з

кроком 0.1 і  $K_\beta \in [2.5, 100]$  з кроком 5. Для кожного сполучення значень  $K_\alpha$  і  $K_\beta$  цього діапазону розраховують значення  $K_v$  при  $\varepsilon \in [0^\circ, 90^\circ]$  з кроком  $1^\circ$ , вибирають максимальне значення і заносять до матриці коефіцієнтів швидкості. Значення  $\varepsilon = \varepsilon_0$ , що відповідає максимуму  $K_v$ , заносять до другої матриці – матриці оптимальних кутів зсуву фаз, номери рядків і стовпців якої також відповідають значенням параметрів  $K_\alpha$  і  $K_\beta$ . Складені матриці дають змогу побудувати графіки залежностей  $K_v = K_v(K_\alpha, K_\beta)$  та  $\varepsilon_0 = \varepsilon_0(K_\alpha, K_\beta)$ , як це показано в [4], але можливості системи MathCAD не дають змоги, згідно з поставленою задачею, зафарбувати поверхню першої функції у колір, що відповідає значенню іншої функції.

Для розв'язання цієї проблеми складено програму мовою C++ з використанням бібліотеки тривимірної графіки OpenGL. Отримані у середовищі системи MathCAD дві матриці експортуються до програми візуалізації, на основі значень першої матриці будується геометрична поверхня, ортогональним координатам кожної точки якої відповідають значення  $K_\alpha$  і  $K_\beta$  і  $K_v$ . Числові значення другої матриці приводяться у відповідність до гамми кольорів, як це запропоновано в [5]. Наприклад, значенню  $\varepsilon = 0^\circ$  відповідає синій колір, а  $\varepsilon = 90^\circ$  – червоний. А потім кожна точка поверхні відповідно до номерів стовпців і рядків зафарбовується у відповідний колір. Отже, отримано графік геометричної поверхні, кожній точці якої з абсцисою і ординатою, що задаються значеннями  $K_\alpha$  і  $K_\beta$ , відповідає апліката, значення якої дорівнює  $K_v$ , і колір, що відповідає значенню  $\varepsilon_0$ . Тобто побудована поверхня дає наочне уявлення про швидкість транспортування залежно від параметрів та одночасно про значення потрібного кута зсуву фаз.

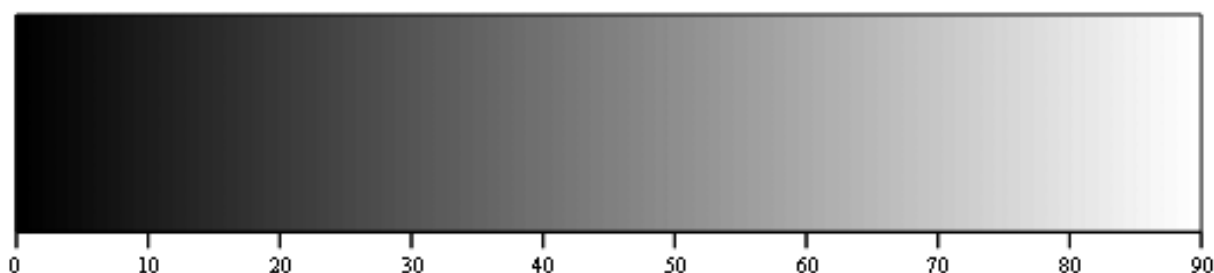


Рис. 1. Палітра кольорів поверхні, що відповідає величинам кута зсуву фаз

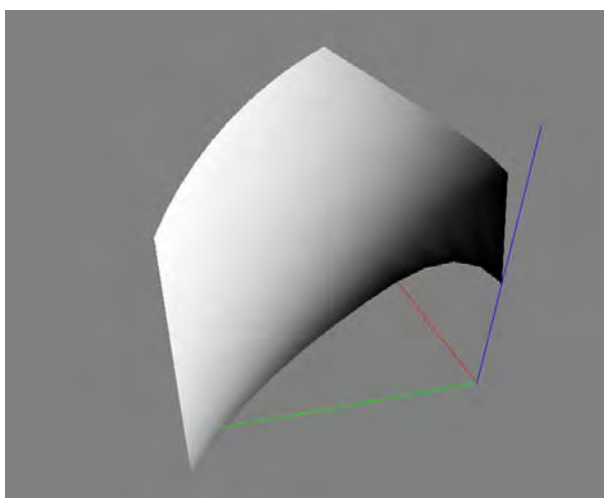


Рис. 2. Графік залежності  $K_v$  від  $K_\alpha$  і  $K_\beta$  при  $K_\zeta = 1$

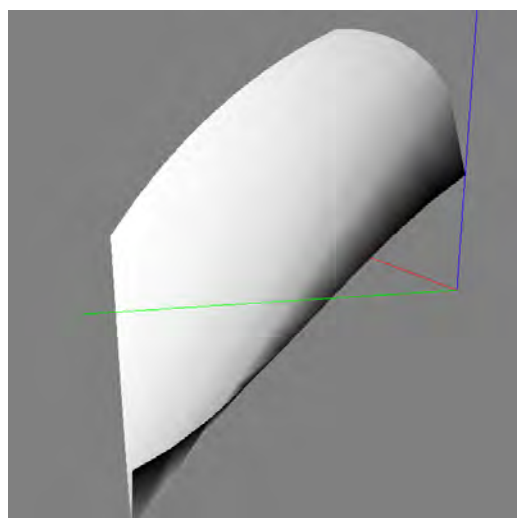


Рис. 3. Графік залежності  $K_v$  від  $K_\alpha$  і  $K_\beta$  при  $K_\zeta = 20$

Через неможливість подати кольорові рисунки замість кольору точок відповідно до значень  $\varepsilon_0$  наведено їхню яскравість: значенню  $\varepsilon=0^\circ$  відповідає чорний, а значенню  $\varepsilon=90^\circ$  – білий колір (рис. 1). На рис. 2 показано поверхню, що демонструє залежність  $K_v$  від  $K_\alpha$  і  $K_\beta$  при  $K_\xi=1$ , яскравість кожної точки якої визначає значення  $\varepsilon_0$ .

Хоча значення  $K_\xi=1$  для безвідривних режимів оптимальне, на практиці можливе відхилення від нього. Тому практичний інтерес викликають розрахунки  $K_v$  і  $\varepsilon_0$  при  $K_\xi < 1$ . Для цього можливо, наприклад, на одному просторовому графіку побудувати аналогічні поверхні при  $K_\xi=0.9$ ,  $K_\xi=0.8$  тощо. Одночасний аналіз сімейства поверхонь є водночас привабливим та незручним: одна поверхня закриває іншу. Тому побудуємо також поверхні, для яких постійне значення набуває  $K_\alpha$  або  $K_\beta$ . Характерною особливістю вібротранспортування з еліптичними коливаннями є те, що при достатньо великих поздовжніх амплітудах ( $K_\beta > 10 \dots 20$ ) значення  $K_v$  незначно змінюються при зростанні  $K_\beta$ . На рис. 3 показано графік залежності  $K_v$  від  $K_\xi$  і  $K_\alpha$  при  $K_\beta=20$ . Для кращої наочності відтінків чорно-білого зображення поверхні показані на сірому фоні.

**Висновки.** Побудовано просторові графіки залежностей коефіцієнта швидкості вібротранспортування від параметрів коливань у вигляді геометричних поверхонь, кожену точку яких зафарбовано у колір, що відповідає значенню оптимального кута зсуву фаз між складовими еліптичних коливань. Графіки дають можливість визначити величини параметрів, що забезпечують максимум швидкості вібротранспортування.

1. *Вибрации в технике: Справочник. Т. 4. Вибрационные машины и процессы.* / Под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. 2. *Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение.* – М.: Наука, 1964. 3. *Врублевский И.И. Разработка и исследование вибрационных устройств, осуществляющих организацию рабочей среды роботосистем.* – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Каунас, 1986. 4. *Врублевський І.Й. Визначення швидкості вібраційного транспортування при еліптичних коливаннях за допомогою комп'ютерного редактора MathCAD* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2003. – № 480. – С.21–23. 5. *Сич С.В., Врублевський І.Й. Використання кольорових поверхонь при побудові графіків декількох функцій від двох змінних* // *Графика XXI века. Тезисы докладов VIII Международной студенческой научно-технической конференции.* – Севастополь: СевНТУ – 2005. – С. 124–127.