

**І. Й. Врублевський**

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного,  
кафедра інженерної механіки  
(озброєння і техніки інженерних військ)

## **ОПТИМАЛЬНІ КУТИ ПІДЙОМУ ШТУЧНИХ ВАНТАЖІВ ПІД ЧАС БЕЗВІДРИВНОГО ВІБРОТРАНСПОРТУВАННЯ З ПОЛІГАРМОНІЧНИМИ НОРМАЛЬНИМИ КОЛИВАННЯМИ**

© Врублевський І. Й., 2017

*Розглянуто процес вібраційного транспортування штучних вантажів у безвідривному режимі під час полігармонічних нормальних та гармонічних поздовжніх коливань робочого органа вібротранспортного пристрою. Визначено оптимальні значення кутів нахилу транспортної поверхні пристрою за умови підйому вантажів на певну висоту за мінімальний час. Показано, що оптимальний кут підйому залежить від кількості гармонік полігармонічних нормальних коливань та коефіцієнта тертя.*

*Ключові слова: вібраційне транспортування, полігармонічні коливання, вібраційний пристрій.*

*Vibratory conveying with harmonic longitudinal and polyharmonic normal oscillations of vibratory conveying device in non-jumping modes is considered. Optimal values of inclined track angles are determined on the condition of the piece goods lifting at a certain height in the minimum time. It is shown that optimal inclined track angle depends on the number of harmonics of polyharmonic normal oscillations and coefficient of friction.*

*Key words: vibration transport, polyharmonic oscillations, vibrating device.*

**Постановка проблеми.** Для вібраційного транспортування великогабаритних масивних штучних виробів або таких, що під час переміщення потребують уникнення найменших пошкоджень, наприклад, крихких деталей або виробів з покриттям, необхідне дотримання безвідривних режимів вібропереміщення. Використання незалежних вібробудувачів полігармонічних нормальних коливань разом з гармонічними поздовжніми коливаннями дає істотне підвищення швидкості вібраційного транспортування та кутів підйому у безвідривних режимах порівняно з простішими віброприводами прямолінійних та еліптичних коливань. Розроблена методика визначення швидкості вібротранспортування та оптимальних значень параметрів полігармонічних нормальних коливань, які забезпечують її максимальну величину. Але при цьому не визначені величини оптимальних кутів підйому вантажів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вібраційне транспортування з незалежними полігармонічними (зокрема, бігармонічними) коливаннями досліджують в [1, 2], у яких процес розглядається як безвідривне переміщення матеріальної точки. Показано, що у швидкісних вібротранспортних пристроях доцільно використовувати незалежні гармонічні поздовжні та полігармонічні нормальні коливання. Знайдено оптимальні за швидкістю значення параметрів коливань, зокрема амплітуд та кутів зсуву фаз, розроблено методику розрахунку швидкості транспортування. У безвідривних режимах визначено оптимальні кути підйому штучних виробів під час еліптичних коливань [3], але під час полігармонічних нормальних коливань визначення оптимальних кутів підйому не проводилося.

**Формулювання мети дослідження.** Мета дослідження полягає у визначенні оптимальних значень кутів підйому під час вібротранспортування штучних вантажів у безвідривному режимі за нормальних полігармонічних коливань робочого органа вібротранспортного пристрою з різною кількістю гармонік за умови переміщення вантажу на певну висоту за мінімальний час.

**Виклад основного матеріалу.** У швидкісних вібраційних транспортних пристроях (конвеєрах, бункерних живильниках, підйомниках, віброманіпуляторах) для переміщення масивних вантажів у безвідривних режимах доцільно використовувати незалежні вібробудувачі поздовжніх гармонічних та нормальних полігармонічних коливань. При цьому робочий орган пристрою здійснює поздовжні коливання (у напрямку транспортування)  $x$  та нормальні коливання (у напрямку, перпендикулярному до площини транспортування)  $y$  за законом [1]:

$$x = A_x \cdot \sin(\omega t + \epsilon_0);$$

$$y = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin(i\omega t + \frac{P}{2}(i-1)), \quad (1)$$

де  $A_x$  – амплітуда поздовжніх коливань;  $A_i$  – амплітуда  $i$ -ї гармоніки нормальних коливань;  $n$  – кількість гармонік;  $\omega$  – кругова частота коливань;  $\epsilon_0$  – оптимальний кут зсуву фаз;  $t$  – час.

Ефективність процесу вібраційного транспортування характеризується безрозмірним коефіцієнтом швидкості, величина якого визначає середню швидкість  $v$  за одиничних значень поздовжньої амплітуди і кругової частоти:

$$K_v = \frac{v}{A_x \cdot \omega}. \quad (2)$$

Згідно з дослідженнями [1, 2], максимальна величина коефіцієнта швидкості  $K_v$  досягається за певних (оптимальних) співвідношень амплітуд складових коливань та кута зсуву фаз  $\epsilon_0$  і за  $A_x \gg A_i$ , що відбувається за швидкісного транспортування, залежить тільки від параметра кута нахилу  $K_\alpha = \tan \alpha / f$ , де  $\alpha$  – кут нахилу несучої поверхні до горизонту,  $f$  – коефіцієнт тертя. Отже, за заданих значень кута підйому  $\alpha$ , коефіцієнта тертя  $f$ , амплітуди і частоти коливань  $A_x$  і  $\omega$ , можна вирахувати величину максимально можливої швидкості вібротранспортування  $v$ . На рис. 1 показана залежність коефіцієнта швидкості  $K_v$  від коефіцієнта кута нахилу  $K_\alpha$  за різної кількості гармонік нормальних коливань [1].

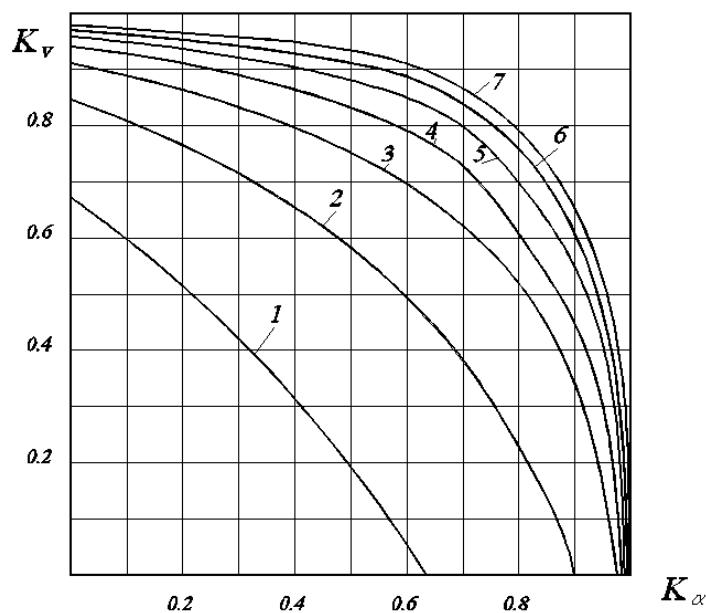


Рис. 1. Графік залежності коефіцієнта швидкості  $K_v$  від параметра кута нахилу  $K_\alpha$  за різної кількості  $n$  гармонік полігармонічних нормальних коливань

Для визначення оптимального кута підйому  $\alpha$  необхідно розв'язати задачу переміщення вантажу на певну висоту за мінімальний час. Як показано у [3], цій умові відповідає максимум величини добутку  $K_v K_\alpha$  залежно від параметра кута нахилу  $K_\alpha$ . За результатами розрахунків, виконаних за допомогою математичної комп'ютерної системи MathCAD, за методикою, викладеною в [1], побудовано графіки залежності  $K_v K_\alpha$  від параметра кута нахилу  $K_\alpha$  за різних кількостей гармонік  $n$ , які показано на рис. 2. Ці залежності мають максимум за певного значення кута нахилу, яке назвемо оптимальним  $K_{\alpha\text{ опт}}$  і значення якого залежить від кількості гармонік  $n$  нормальних коливань.

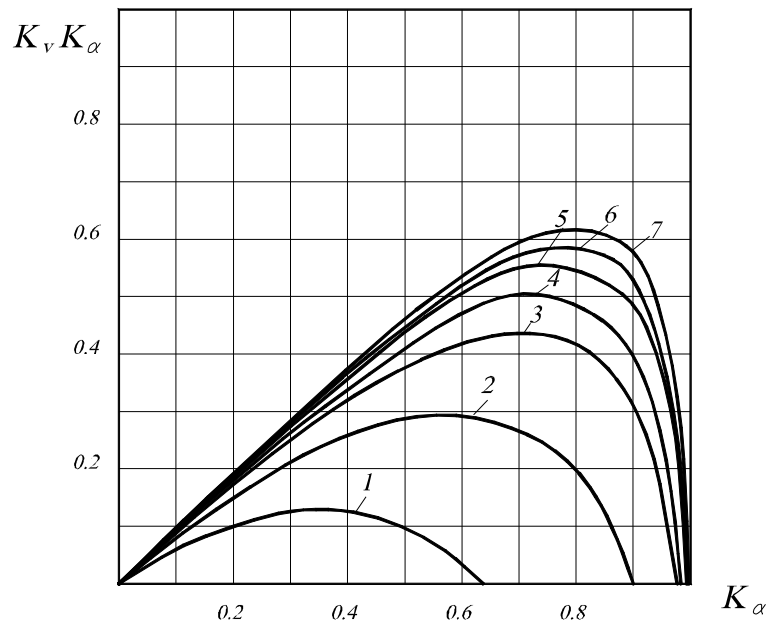


Рис. 2. Графік залежності параметра  $K_v K_\alpha$  від параметра кута нахилу  $K_\alpha$  за різної кількості  $n$  гармонік полігармонічних нормальних коливань

**Величини параметра оптимального кута підйому за різних кількостей гармонік**

Кількість гармонік, $n$	Величина оптимального параметра кута нахилу, $K_{\alpha\text{ опт}}$	Значення коефіцієнта швидкості $K_v$ за $K_\alpha = K_{\alpha\text{ опт}}$	Примітки
1	0,35	0,37	$a_1=1$
2	0,57	0,52	$a_1=1,39; a_2=0,59$
3	0,7	0,62	$a_1=1,59; a_2=0,97; a_3=0,37$
4	0,73	0,7	
5	0,75	0,75	
6	0,78	0,77	
7	0,79	0,79	

У таблиці наведені оптимальні значення параметра кута нахилу  $K_{\alpha\text{ опт}}$  за різних кількостей гармонік нормальних коливань та відповідні їм значення коефіцієнта швидкості  $K_v$ . У примітках наведені оптимальні значення відношень амплітуд гармонік нормальних коливань  $a_i = A_i/A_g$  до амплітуди гармонічних коливань, за яких нормальне пришвидшення дорівнює пришвидшенню вільного падіння ( $A_g = g \cos \alpha / \omega^2$ ) при  $n = 2$  і  $n = 3$ .

За збільшення кількості гармонік нормальних полігармонічних коливань величина оптимального параметра кута нахилу  $K_{\alpha\text{ опт}}$  збільшується, отже, збільшується і можливий кут

підйому  $\alpha$  вантажів. Збільшується також і коефіцієнт швидкості. Але з кожною наступною гармонікою це збільшення стає все меншим. Для еліптичних коливань ( $n=1$ ) оптимальне значення  $K_{\alpha_{opt}}=0,35$ , що збігається з результатами [3, 4]. За великої кількості гармонік ( $n > 10$ )  $K_{\alpha_{opt}} > 0,85$  і оптимальні кути підйому наближаються до кутів тертя, за перевищення яких транспортування вверх неможливе. У зв'язку з тим, що значення коефіцієнтів тертя, як правило, відомі не дуже точно, а за зміни умов роботи вібротранспортного пристрою можуть змінюватися, доцільно використовувати величини  $K_{\alpha_{opt}} < 0,8 \dots 0,85$ .

Отже, за полігармонічних нормальних коливань, зсунутих по фазі щодо гармонічних поздовжніх коливань на кут  $\varepsilon_0$ , за графіками рис. 2 або таблицею, потрібно вибрати оптимальне значення параметра кута нахилу  $K_{\alpha_{opt}}$  залежно від кількості гармонік  $n$ , а потім, задаючи величину коефіцієнта тертя  $f$ , визначити оптимальну величину кута підйому:

$$\alpha = \arctg (K_{\alpha_{opt}} f).$$

**Висновки.** Використання полігармонічних нормальних коливань і поздовжніх гармонічних коливань робочого органа вібраційного транспортного пристрою з оптимальними співвідношеннями амплітуд і кутів зсуву фаз дає змогу істотно підвищити швидкість вібротранспортування і кути підйому вантажів порівняно з пристроями, що реалізують прямолінійні або еліптичні коливання. За умови підйому вантажів на певну висоту за мінімальний час визначені оптимальні величини параметра кута нахилу транспортної поверхні вібраційного пристрою залежно від кількості гармонік полігармонічних коливань. Наведені графіки і таблиці дають можливість визначити оптимальну величину параметра кута нахилу, а знаючи коефіцієнт тертя, вирахувати оптимальний кут підйому.

Зі збільшенням кількості гармонік полігармонічних нормальних коливань оптимальне значення параметра кута нахилу збільшується, відповідно збільшується і оптимальний кут підйому вантажів. Зі збільшенням кількості гармонік збільшується і швидкість вібраційного транспортування за оптимального кута підйому. Але з кожною наступною гармонікою збільшення кута підйому і швидкості транспортування стає все меншим.

1. Врублевський І. Й. Оптимізація параметрів полігармонічних нормальних коливань під час безвідривного вібротранспортування / І. Й. Врублевський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – № 613: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2008. – С. 89–92. 2. Врублевський І. Й. Оптимальные параметры полигармонических нормальных колебаний при двухкомпонентном вибротранспортировании / И. И. Врублевский // Известия вузов. "Машиностроение". – 1986. № 5. – С. 157–160. 3. Дунаевецкий А. В. Оптимальный синтез параметров вибротранспортирования / А. В. Дунаевецкий // Технология судостроения и судоремонта. – Калининград: Калининградский судостроительный институт, 1968. – С. 50–56. 4. Врублевський І. Й. Методика визначення параметрів еліптичних коливань під час швидкісного безвідривного вібротранспортування / І. Й. Врублевський // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: НУ"ЛП", 2011. – Вип. 45. – С. 175–178.