

О.В. Гаврильченко, В.С. Шенбор

Національний університет «Львівська політехніка»

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ СИПКИМИ ПРОДУКТАМИ

В роботі розглядається вібраційний конвеєр з еліптичною траєкторією коливань транспортуючої поверхні для завантаження сипкими продуктами автоматизованого обладнання. Розроблена динамічна модель конвеєра з трьома робочими масами, яким задається різні швидкості транспортування.

Ключові слова: вібраційне транспортування, незалежне транспортування, вібраційні конвеєри, вібраційний привод, резонансне налагодження.

O.V. Gavrylchenko, V.S. Shenbor

The paper considers a vibrating conveyor with an elliptical trajectory of vibrations of the conveying surface for loading automated equipment with bulk products. A dynamic model of the conveyor with three working masses, which are assigned different transportation speeds, is developed.

Keywords: vibration transportation, independent transportation, vibration conveyors, vibration drive, resonant tuning

Вступ. Вібраційні конвеєри широко застосовуються як транспортуючі засоби та завантажуючі пристрої у переробній та харчовій промисловостях. Значні достоїнства таких конвеєрів дозволяють ефективно застосовувати їх для вирішення технічних проблем обслуговування технологічного обладнання. У даній роботі досліджений вібраційний конвеєр, який успішно використаний для урівномірнення шару продукту за транспортування та завантаження вагових дозаторів пакувальних автоматів.

Постановка задачі. Особливістю пакувальних автоматів з ваговими дозаторами є те, що необхідно рівномірним шаром подавати продукт у заважувальний контейнер для запобігання його надмірних коливань, які підвищують похибку та тривалість зважування. Ефективним способом урівномірнення шару продукту за транспортування його від бункера до вагового дозатора є використання трьох вібраційних конвеєрів, у яких кожним наступним конвеєром забезпечується швидкість транспортування продукту у 1,2...1,6 рази більша від попереднього [1,2]. У таких випадках за направлених коливань несучого жолоба використовують три послідовно розташованих окремих конвеєрів з окремими трьома віброзбудниками. Враховуючи, що найбільшу швидкість транспортування забезпечують конвеєри з незалежними коливаннями за еліптичної траєкторії транспортування необхідно використати шість віброзбудників. Дана робота спрямована на розробку віброконвеєра з одним віброзбудником та трьома транспортуючими лотками, коливання яких забезпечується кінематичним збуренням.

Аналіз інформаційних джерел за тематикою досліджень. В теоретичних та експериментальних дослідження встановлено високу ефективність використання вібраційних конвеєрів для транспортування сипких продуктів [2,3,4], з використанням значних достоїнств вібраційного способу їх переміщення. Сфери використання вібраційних конвеєрів зростають – це потребує створення їх раціональних конструкцій, тобто, розроблення нових конструкцій на основі удосконалених коливних систем [5]. У ряді робіт розглянута можливість одержання еліптичних коливань коливними системами конвеєрів з кінематичним збудженням коливань транспортуючих жолобів [6,7].

Мета роботи. Розробити та дослідити модель нової запропонованої конструкції багатомасового конвеєра з трьома транспортуючими лотками та кінематичним збуренням коливань, призначеного для завантаження сипкими та гранульованими продуктами технологічного обладнання, наприклад – вагових дозаторів пакувальних автоматів.

Виклад основного матеріалу. У даній роботі запропоновано новий конвеєр [8], який працює лише від одного віброзбудника, в якого встановлені три несучі лотки з еліптичною траєкторією коливань.

На рис.1 наведено конструктивну схему такого конвеєра.

Перед дослідженням стояло задання дослідити роботу такого конвеєра з метою забезпечення зростання швидкості транспортування у кожного наступного лотка. Поставлене завдання можна вирішити шляхом незалежної зміни амплітуди позовжніх коливань для кожного лотка (m_1 , m_2 , m_3), наприклад:

– налагодженням коефіцієнта динамічності кожної коливної системи мас m_1, m_2, m_3 , тобто підбором значенням мас або жорсткості пружного елемента за його різної ширини або довжини;

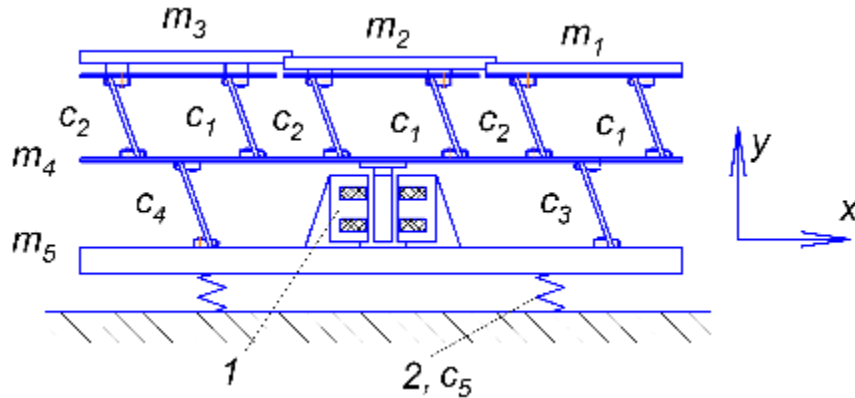


Рис.1. Конструктивна схема вібраційного конвеєра з трьома несучими лотками за еліптичною траєкторією коливань, де: m_1, m_2, m_3 – маси транспортуючих лотків, m_4, m_5 – маса проміжна та маса основи, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 – пружні елементи; а також – 1 – двотактний електромагнітний вібратор, 2 – демпфери.

– відповідним підбором значення кута α рис.2 за незмінної маси та жорсткості пружних елементів;

– встановленням лотків мас m_1, m_2, m_3 кожного під іншим кутом ψ (рис.2) за однаковою або різною довжиною пружин у одній масі.

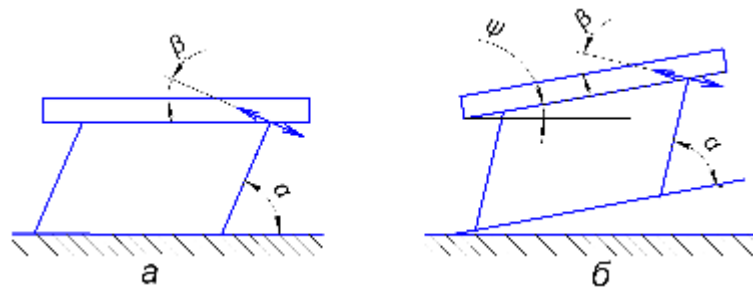


Рис.2. Кут, які визначають швидкість транспортування продукту вібраційним конвеєром

Були визначені степені вільності коливної системи зображеної на рис.1.

Визначимо степені вільності для кожної з мас:

m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5, y_5

Вертикальні переміщення y_1, y_2, y_3 однозначно залежать від $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, y_4, y_5$ тому вони не є степенями вільності.

Враховуючи будову коливної системи (рис.1) визначимо переміщення верхніх кінців пружин y_1, y_2, y_3 враховуючи розподіл кутів розташування плоских пружин.

Вважаємо, що плоска пружина знаходиться під кутом α до горизонтальної площини, а кут, що рівний $90-\alpha$ являє собою кут вібрації β .

Швидкість транспортування сипких та гранульованих продуктів суттєво залежить від кута β і при розрахунках приймається дуже наближено в межах $\beta = 10 \dots 50^\circ$ та залежить від амплітуди коливань і параметра перевантаження [9].

Під час руху верхньої маси кут α змінює своє значення. Це обумовлено тим, що відбувається рух маси m_4 вздовж осі ступеня вільності x_4 , тим часом як нижня маса залишається нерухомою, а пружина жорстко защемлена.

Згідно рис.3

$$\frac{y_1 - y_4}{x_1 - x_4} = \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \operatorname{ctg} \alpha \quad ; \quad y_1 = y_4 + (x_1 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha$$

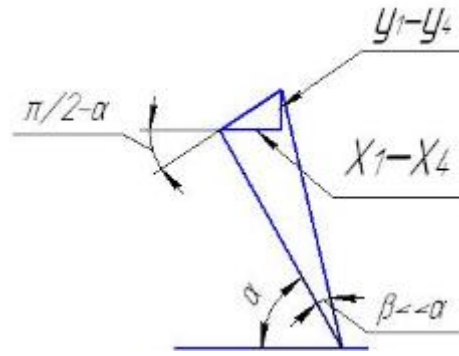


Рис. 3. Схема розподілу переміщень при роботі конвеєра

так само

$$y_2 = y_4 + (x_2 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha; \quad y_3 = y_4 + (x_3 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha.$$

Довжину пружного елемента незмінною і рівною L_0 , Тоді

$$\frac{x_4 - x_5}{L_0} = \cos \phi; \quad \phi = \arccos \frac{x_4 - x_5}{L_0};$$

$$(L_0 + y_4 - y_5)^2 + (x_4 - x_5)^2 = L_0^2; \quad y_4 - y_5 = L_0 \pm \sqrt{L_0^2 - (x_4 - x_5)^2}$$

Для спрощення приймемо $\sqrt{1 + \alpha} \approx 1 + \frac{\alpha}{2}$, тоді

$$y_4 = y_5 + \frac{(x_4 - x_5)^2}{2L_0}.$$

Запишемо вирази для значень вертикальних переміщень y_1, y_2, y_3, y_4 :

$$y_1 = y_4 + (x_1 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha; \quad y_2 = y_4 + (x_2 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha; \quad y_3 = y_4 + (x_3 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$y_4 = y_5 - \frac{(x_4 - x_5)^2}{2L_0};$$

Виразимо y_1, y_2, y_3 через y_5 :

$$y_1 = y_5 - \frac{(x_4 - x_5)^2}{2L_0} + (x_1 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha; \quad y_2 = y_5 - \frac{(x_4 - x_5)^2}{2L_0} + (x_2 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$y_3 = y_5 - \frac{(x_4 - x_5)^2}{2L_0} + (x_3 - x_4) \operatorname{ctg} \alpha;$$

Одержане рівняння Лагранжа для першої координати:

$$m_1 \ddot{x}_1 + m_1 \operatorname{ctg} \alpha \left[\ddot{y}_5 - \frac{1}{L_0} \left((\dot{x}_4 - \dot{x}_5)^2 + (x_4 - x_5)(\ddot{x}_4 - \ddot{x}_5) \right) \right] + C_1 \left(y_1 - y_4 + \frac{(x_1 - x_4)^2}{2L_2} \right) \times \\ \times \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{x_1 - x_4}{L_2} \right) + m_1 g \operatorname{ctg} \alpha = 0$$

для другої координати:

$$m_2 \ddot{x}_2 + m_2 \operatorname{ctg} \alpha \left[\ddot{y}_5 - \frac{1}{L_0} \left((\dot{x}_4 - \dot{x}_5)^2 + (x_4 - x_5)(\ddot{x}_4 - \ddot{x}_5) \right) \right] + C_2 \left(y_2 - y_4 + \frac{(x_2 - x_4)^2}{2L_2} \right) \times \\ \times \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{x_2 - x_4}{L_2} \right) + m_2 g \operatorname{ctg} \alpha = 0$$

для третьої координати:

$$m_3 \ddot{x}_3 + m_3 \operatorname{ctg} \alpha \left[\ddot{y}_5 - \frac{1}{L_0} \left((\dot{x}_4 - \dot{x}_5)^2 + (x_4 - x_5)(\ddot{x}_4 - \ddot{x}_5) \right) \right] + C_3 \left(y_3 - y_4 + \frac{(x_3 - x_4)^2}{2L_2} \right) \times \\ \times \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{x_3 - x_4}{L_2} \right) + m_3 g \operatorname{ctg} \alpha = 0$$

для четвертої координати:

$$m_4 \ddot{x}_4 + \frac{\dot{x}_1 - \dot{x}_5}{L_0} (m_1 \dot{y}_1 + m_2 \dot{y}_2 + m_3 \dot{y}_3) + \left(\frac{x_4 - x_5}{L_0} \operatorname{ctg} \alpha \right) (m_1 \ddot{y}_1 + m_2 \ddot{y}_2 + m_3 \ddot{y}_3) - \\ - C_4 \left[(x_4 - x_5)^2 + (y_4 - y_5)^2 \right] \frac{x_4 - x_5}{\sqrt{(x_4 - x_5)^2 + (y_4 - y_5)^2}} + C_1 \Delta_1 \left(-\frac{x_1 - x_4}{L_2} \right) + \\ + C_2 \Delta_2 \left(-\frac{x_2 - x_4}{L_2} \right) + C_3 \Delta_3 \left(-\frac{x_3 - x_4}{L_2} \right) = P_0 \sin \omega t;$$

для п'ятої координати:

$$m_5 \ddot{x}_5 + (m_1 \ddot{y}_1 + m_2 \ddot{y}_2 + m_3 \ddot{y}_3) \frac{x_4 - x_5}{L_0} + (m_1 \dot{y}_1 + m_2 \dot{y}_2 + m_3 \dot{y}_3) \frac{\dot{x}_4 - \dot{x}_5}{L_0} - \\ - C_5 \left(y_5 + \frac{x_5^2 + y_5^2}{2L_1} \right) \frac{x_5}{L_1} - C_4 (x_4 - x_5) = -P_0 \sin \omega;$$

Аналізуючи одержані рівняння можна відзначити, можливість використання багатомасових конвеєрів для транспортування виробів та продуктів з метою маніпулювання ними. Наприклад: як вказувалось, можна використати трьохмасовий конвеєр для завантаження вагових дозаторів, коли необхідно забезпечити рівномірне завантаження продуктом приймальний контейнер дозатора, для цього кожному наступному транспортуючому лотку надається швидкість транспортування продукту більша від попередньої.

Використовуючи одержані рівняння були побудовані графіки (рис.4) залежності амплітуди коливань жолоба для першої, другої та третьої мас (несучих жолобів конвеєра) за наступних умов:

- вимушуюче зусилля коливань $P_0=50$ Н,
- жорсткості плоских пружин $c_1=c_2=c_3=1 \cdot 10^4$ кг/м,
- частота коливань $f=25$ Гц,
- маси $m_1=1$ кг, $m_2=1.5$ кг, $m_3=3$ кг.

Розрахунок проводився в програмному забезпеченні MathCAD:

Для ілюстрації розглянемо випадок, за яким для забезпечення зростання амплітуди коливань транспортуючих лотків була збільшена маса у два рази у кожного наступного, $m_1=2$ кг, $m_2=4$ кг, $m_3=8$ кг.

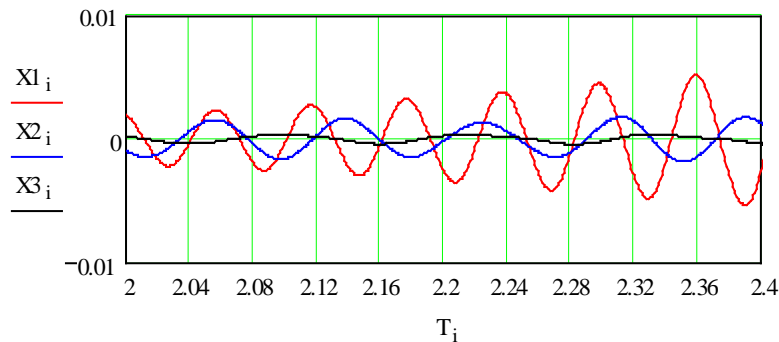


Рис.4. Графік залежностей переміщення мас жолобів масами m_1, m_2, m_3 від періоду коливань T_i .

Висновки. Отже використовуючи багатомасовий конвеєр з трьома транспортуючими лотками, які одержують кінематичне збурення коливань від двомасної коливної системи з одним

віброзбудником можна забезпечити зростаючу швидкість транспортування продукту у кожному наступному лотку і забезпечити урівномірнення шару продукту перед завантаженням технологічного обладнання, наприклад – вагового дозатора.

Даний принцип можна використовувати і для конструкцій з більшою кількістю транспортуючих мас, налаштовуючи кожну з яких на необхідну амплітуду, таким чином, регулюючи швидкість переміщення продуктів конвеєром на різних його ділянках. Це необхідно для того, щоб забезпечити здійснення операцій, які виконуються під час переміщення продукту та потребують певний час при неперервному русі продукту вібраційним конвеєром, а також, зменшити число одиниць обладнання, заміною декількох конвеєрів одним. Розглянута конструкція дозволить значно спростити процес завантаження автоматизованого обладнання, знизити потужність приводу та вартість транспортуючих засобів.

Надалі, необхідно провести дослідження залежності швидкості транспортування продуктів від параметрів коливань транспортуючих лотків, з метою забезпечення різних умов переміщення продуктів на багатомасовому конвеєрі з одним віброзбудником

Список літератури.

1. Гавва, О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 1. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. - К. : "Упаковка", 2008. – 436 .
2. Кодра Ю. В., Стоцько З. А., Гаврильченко О. В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання : Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – С.356.
3. Гавва О. М., Деренівська А. В., Кривопляс-Володіна Л.О., Забезпечення заданої інтенсивності переміщення сипких продукцій із бункера в лінійних вагових дозаторах, Вібрації в техніці та технологіях № 4 (68) 2012.-С.103-108.
4. Шоловій Ю. П. Особливості вібраційного транспортування дрібно-дисперсної сипкої продукції / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // Упаковка. – 2014. – №1. – С. 55 – 58.
5. А.А. Свиридов, Н.А. Усенко, Новая конструкция многомассного лоткового вибрационного грузочного устройства и его динамическая модель, Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. Вып. 12. Ч. 2., С. 226-231.
6. Бочарова Е.С., Усенко Н.А. Динамическая модель вибрационного грузочного устройства с синхронным приводом с эллиптическими колебаниями бункера // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. науч. ст.: в 2-х ч. / редкол.: С.Ф. Яцун (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. Ч. 1. С. 60-63.
7. Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины – автоматы: учеб. пособие / Н.А. Усенко [и др.]: под науч. ред. В.В. Прейса. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013.- С.310 с.
8. Вібраційний конвеєр: пат.132952 Україна/ Гаврильченко Олександр Віталійович (UA); Ланець Олексій Степанович (UA); Жигайло Василь Іванович (UA): МПК В65G 27/00; заявл. 01.06.1918; опубл.25.03.2019, Бюл. № 6/2019.
9. Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2004.-С.248.

Рецензент: Гурський Володимир Миколайович, Львівська політехніка, професор, д.т.н., професор.