

TỰ ĐỘNG HÓA QUÁ TRÌNH THIẾT KẾ THIẾT BỊ CẤP PHÔI TỰ ĐỘNG THEO NGUYÊN LÝ RUNG ĐỘNG

AUTOMATING THE DESIGN PROCESS OF VIBRATORY BOWL FEEDER

Nguyễn Văn Mùi

Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

Email: nvmui@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Hệ thống cấp phôi tự động theo nguyên lý rung động được sử dụng rộng rãi trong sản xuất hiện đại ngày nay cho các loại phôi rời có trọng lượng và kích thước nhỏ. Thiết kế, chế tạo thiết bị này đã và đang được quan tâm nhằm giúp phôi đi đúng hướng và đúng nhịp sản xuất. Trong hệ thống cấp phôi tự động có rất nhiều các thành phần như phễu rung cấp phôi, lò xo lá tạo dao động cho phễu, các nam châm điện kết hợp với lò xo lá tạo dao động cho phễu. Yếu tố quyết định đến khả năng cấp phôi là phễu rung trên đó có chứa các rãnh dẫn hướng, các cơ cấu điều hướng đảm bảo cho quá trình di chuyển của phôi. Bài báo này trình bày quá trình tính toán thiết kế, mô hình hóa các thiết bị trên môi trường số cũng như tự động hóa quá trình thiết kế thông qua các tham số sử dụng phần mềm CATIA.

Từ khóa: *Phễu rung; Thiết bị rung cấp phôi; Cấp phôi tự động; Tự động hóa thiết kế.*

ABSTRACT

Automatic bowl feeding system based on vibration principle are widely used in modern manufacturing for handling small and lightweight discrete parts. The design and development of this system has attracted significant attention to ensure that parts are oriented and fed correctly and consistently in line with production requirements. Automatic bowl feeding system typically includes components such as vibratory bowl feeder, oscillation-generating springs, and electromagnets that, together with the springs, create vibrations to move the parts. A decisive factor influencing feeding performance is the design of the vibratory bowl, which contains guiding grooves and mechanisms to facilitate the smooth and accurate part movement. This paper presents the processing of calculating, designing, the modeling of these components in a digital environment, as well as the automation of the design process using design software such as CATIA.

Keywords: *Bowl feeder; Vibratory bowl feeder; Vibration; Automatic Design.*



1. GIỚI THIỆU

Đối với các loại phôi rời có trọng lượng và kích thước nhỏ thường sử dụng các thiết bị cấp phôi rung động (Vibration Bowl Feeder - VBF), tỷ lệ thiết bị này chiếm 80% trong các nhà máy sản xuất hiện nay [1]. VBF là một thiết bị có kết cấu đơn giản nhưng hiệu quả và năng suất cao, đảm bảo đúng nhịp sản xuất. Kết cấu và nguyên lý chung của thiết bị như hình 1. Trong đó bao gồm: thùng phân loại phôi hay còn gọi là phễu chứa (1) được gắn lên đế trên (2). Đế trên (2) được gắn lên trên ba lò xo lá (3) nhờ lực hút của nam châm điện (4) tạo ra các chuyển động xoay và chuyển động lên xuống tạo ra chuyển động nhảy của phôi trên rãnh dẫn. Thông thường, nam châm điện bao gồm hai phần, một phần cố định nằm ở dưới (5) và mang cuộn dây, phần còn lại lắp cố định để trên (2) và di chuyển cùng với đế trên (2) và phôi. Dòng điện trong cuộn dây sẽ tạo ra lực từ giữa hai phần của nam châm điện, bằng các tác động hút, nhả giữa hai phần của nam châm, lực này tác động làm rung động cả phần đế trên phôi. Lực tác dụng giữa hai phần của nam châm được điều khiển bởi mạch điều khiển dòng điện áp từ bộ điều khiển (7). Các giảm chấn (6) có tác dụng triệt tiêu các rung động ảnh hưởng đến các thiết bị khác. Tốc độ di chuyển của phôi phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố, trong đó có dao động của phễu rung.

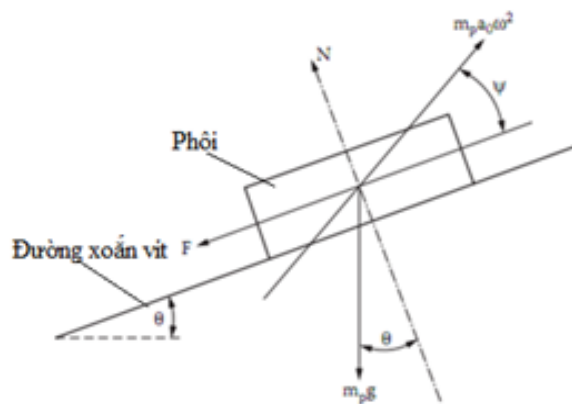


Hình 1. Thiết bị cấp phôi tự động

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT HỆ THỐNG CẤP PHÔI TỰ ĐỘNG THEO NGUYÊN LÝ RUNG

2.1. Các lực tác dụng lên phôi trên máng dẫn

Trong quá trình phân tích trạng thái của phôi trên máng, biên độ dao động tăng dần từ 0. Khi biên độ nhỏ, phôi gần như không di chuyển trên máng dẫn do lực quán tính của phôi nhỏ hơn lực ma sát F giữa phôi và máng dẫn. Trên hình 2, ta thấy rằng lực quán tính lớn nhất tác dụng lên phôi khi máng dẫn đạt vị trí giới hạn. Lực này được chia làm hai thành phần song song và pháp tuyến lần lượt là: $m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos\psi$ và $m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin\psi$.



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên phôi và rãnh xoắn trong phễu [2], [4], [9], [10]

Điều kiện để phôi trượt lên trên là:

$$m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos\psi > m_p \cdot g \cdot \sin\theta + F \quad (2.1)$$

Trong đó: N là phản lực.

Lực ma sát:

$$F = \mu_s \cdot N = \mu_s \cdot (m_p \cdot g \cdot \cos\theta - m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin\psi) \quad (2.2)$$

Với μ_s là hệ số ma sát tĩnh giữa phôi và máng dẫn.

Từ phương trình (2.1) và (2.2), điều kiện để phôi đi lên là:

$$\frac{a_0 \cdot \omega^2}{g} > \frac{\mu_s \cos \theta + \sin \theta}{\cos \psi + \mu_s \sin \psi} \quad (2.3)$$

Tương tự như vậy, điều kiện để phôi đi chuyển trượt xuống là:

$$\frac{a_0 \cdot \omega^2}{g} < \frac{\mu_s \cos \theta - \sin \theta}{\cos \psi - \mu_s \sin \psi} \quad (2.4)$$

Trạng thái hoạt động của phễu rung được biểu thị dưới dạng gia tốc pháp tuyến của máng dẫn không thứ nguyên A_n/g_n . Trong đó, A_n là gia tốc pháp tuyến của máng dẫn ($A_n = a_n \omega^2 = a_0 \omega^2 \sin \psi$), g_n gia tốc trọng trường theo phương pháp tuyến ($g_n = g \cos \theta$) và $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ là gia tốc trọng trường. Vậy, ta có:

$$\frac{A_n}{g_n} = \frac{a_0 \omega^2 \sin \psi}{g \cos \psi} \quad (2.5)$$

Thay (2.5) vào (2.3) ta có, điều kiện để phôi đi lên là:

$$\frac{A_n}{g_n} > \frac{\mu_s + \tan \theta}{\cot \psi + \mu_s} \quad (2.6)$$

Điều kiện để phôi đi chuyển lùi xuống là:

$$\frac{A_n}{g_n} > \frac{\mu_s - \tan \theta}{\cot \psi - \mu_s} \quad (2.7)$$

So sánh phương trình (2.6) và (2.7), ta thấy rằng điều kiện để phôi đi lên là:

$$\tan \psi > \frac{\tan \theta}{\mu_s^2}$$

Khi θ quá nhỏ, ta có:

$$\tan \psi > \frac{\theta}{\mu_s^2} \quad (2.8)$$

Với biên độ rung động đủ lớn, phôi sẽ di chuyển trên máng dẫn với trạng thái trượt và nhảy theo đường dẫn. Điều này chỉ xảy ra khi phản lực N giữa phôi và máng dẫn bằng 0. Theo hình 2.5, ta có:

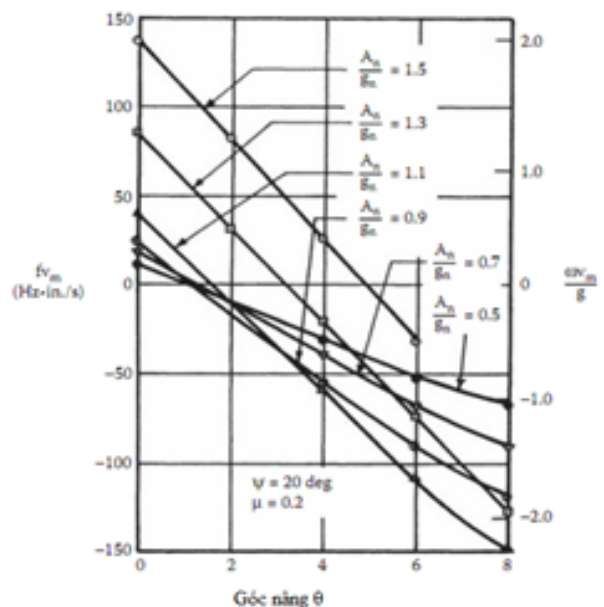
$$N = m_p g \cos \theta - m_p a_0 \omega^2 \sin \psi \quad (2.9)$$

Do đó, để phôi rời khỏi máng dẫn ta có:

$$\frac{a_0 \omega^2}{g} > \frac{\cos \theta}{\sin \psi} \quad \text{hay} \quad \frac{A_n}{g_n} > 1 \quad (2.10)$$

2.2. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình di chuyển của phôi

2.2.1. Ảnh hưởng của thông số kết cấu (góc nghiêng rãnh xoắn θ) [4]



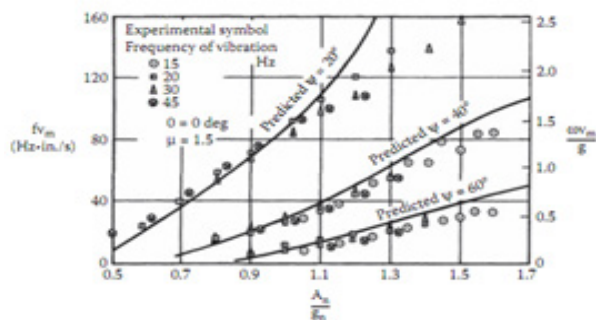
Hình 3. Ảnh hưởng của góc nghiêng rãnh xoắn θ tới vận tốc vận chuyển phôi [4]

Hình 3 cho thấy ảnh hưởng của góc nghiêng rãnh xoắn θ lên vận tốc vận chuyển với

tỷ số gia tốc A_n/g_n khác nhau tại giá trị của μ là 0,2. Kết quả cho thấy vận tốc cao nhất đạt được khi góc nghiêng rãnh xoắn $\theta = 0$ và phôi chuyển động lên trên luôn đạt được khi góc nghiêng rãnh xoắn θ nhỏ. Các máy thiết kế cần thiết phải có góc nghiêng rãnh xoắn hiệu quả $\theta = 3 \div 4^\circ$.

2.2.2. Ảnh hưởng của tần số dao động

Trong hình 4, thử nghiệm được tiến hành với ba góc giữa phương của lực quán tính và phương rung động (góc rung động) $\psi = 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$. Quá trình thử nghiệm được tiến hành với các tần số thấp $f = 15, 20, 30, 45$ Hz, khi đó f_{vm} được sử dụng như giá trị đo của vận tốc băng tải. Các tác giả cho thấy rằng, kết quả này phù hợp với kết quả các nghiên cứu lý thuyết. Kết quả cho thấy vận tốc di chuyển của phôi cao do đó tốc độ cấp liệu cao. Tuy nhiên, gia tốc của máng dẫn là không đổi, có nghĩa là biên độ dao động của máng thay đổi. Qua đây cũng cho thấy tần số hoạt động tốt nhất cho quá trình cấp phôi dao động từ 30 đến 60Hz.



Hình 4. Ảnh hưởng của góc ψ , tỷ số gia tốc, tần số f , góc nghiêng θ , hệ số ma sát lên vận tốc vận chuyển của phôi [4]

2.2.3. Ảnh hưởng của gia tốc máng dẫn [4]

Hình 4 cho thấy khi mà tỷ số gia tốc tăng lên thì vận tốc vận chuyển phôi tăng lên. Tại một số điểm trên đồ thị thì tỷ số này tăng lên đột biến và điều này ảnh hưởng đáng kể

tới quá trình cấp phôi. Người ta giải thích hiện tượng này như sau: nếu tỷ số gia tốc pháp tuyến A_n và gia tốc trọng trường theo phương pháp tuyến g_n này tăng lên tới ($A_n/g_n > 1,0$) thì phôi “bay” lên một lần trong suốt chu kỳ như các mô tả trước đó. Đầu tiên, tốc độ va đập của phôi lên máng dẫn nhỏ, khi gia tốc của máng dẫn tăng lên, tốc độ va đập cũng tăng cho đến một thời điểm nào đó phôi bắt đầu bay lên. Trong trường hợp này, tốc độ cấp phôi sẽ không ổn định. Các nghiên cứu lý thuyết không còn đúng trong trường hợp này.

2.2.4. Ảnh hưởng của góc giữa lực quán tính và mặt phẳng nghiêng ψ [4]

Hình 4 cho thấy vận tốc vận chuyển phôi v_m dễ thay đổi khi ta thay đổi góc giữa lực quán tính và mặt phẳng nghiêng (góc rung động) ψ . Ta có thể thấy rõ sự ảnh hưởng của nó trên hình 2.4, nó biểu thị điều kiện góc tối ưu của góc rung động. Hình 2.6 là mối quan hệ giữa hệ số ma sát μ_s và góc rung động tối ưu ψ_{opt} tại giá trị $A_n/g_n = 1,2$.

3. MÔ HÌNH HÓA THIẾT BỊ

3.1. Tính toán thiết kế thiết bị

Thông số	Giá trị
Đường kính phôi (mm)	20
Chiều cao phôi (mm)	9.54
Thể tích của phôi V_p (mm ³)	1547
Tốc độ của phôi V_p (mm/s)	173
Góc nghiêng của phễu rung β (độ)	1.5
Chiều dày vành a (mm)	2
Bề rộng rãnh xoắn b (mm)	35
Bước xoắn phễu rung t (mm)	30
Đường kính phễu rung D (mm)	370
Chiều cao phễu rung H (mm)	100
Chiều cao bước xoắn h (mm)	70
Đường kính ngoài để đỡ bowl d ₁ (mm)	240
Đường kính trong để đỡ bowl d ₂ (mm)	180
Chiều dày đế đỡ bowl b ₃ (mm)	25
Đường kính ngoài để trên lò xo lá d'1 (mm)	270
Đường kính trong để trên lò xo lá d'2 (mm)	50
Chiều dày đế trên lò xo lá b'3 (mm)	15
Đường kính đế D ₁ (mm)	290
Chiều cao đế H ₁ (mm)	70
Góc nghiêng của lò xo lá α (độ)	11

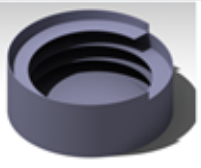
Để thực hiện quá trình tự động hóa thiết kế, trước tiên dựa vào kết quả tính toán ban đầu với các điều kiện đầu vào như vật liệu phôi, năng suất cấp phôi, kích thước, trọng lượng phôi tiến hành tính toán các kích thước của hệ thống như bảng trên.

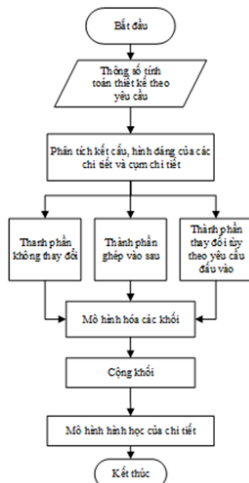
3.2. Mô hình hóa thiết bị

3.2.1. Mô hình hóa chi tiết

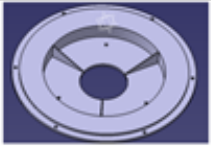
Để mô hình hóa chi tiết, sử dụng phần mềm Catia với các modul:

- Part Design: Thiết kế các chi tiết trong hệ thống;
- Assembly Design: Tạo lập sản phẩm lắp ghép;
- Wireframe and Surface Design: Thiết kế khung dây và bề mặt.

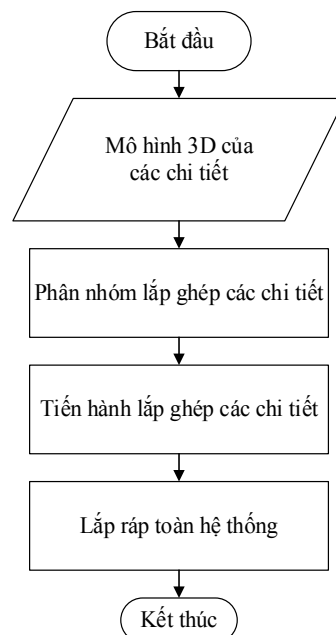
Thông số	Hình ảnh
- Đường kính phễu rung : 370 mm - Chiều cao của phễu rung : 100 mm - Bước xoắn của máng rung : 30 mm - Bề rộng rãnh xoắn : 35mm - Góc nghiêng rãnh xoắn: 1.5°	 Hình 6. Phễu rung cấp nắp chai cao su



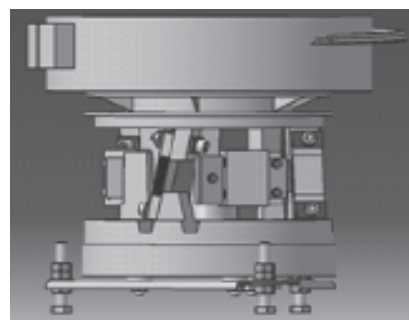
Hình 5. Quy trình thực hiện mô hình hóa phễu rung

Thông số	Hình ảnh
❖ <u>Để gá phễu rung :</u> + Đường kính ngoài : 240 mm + Đường kính trong : 180 mm + Chiều cao : 27 mm + Lỗ ren lắp ghép : M7 với M6	 Hình 7. Đế gá phễu rung
❖ <u>Để trên lò xo lá :</u> + Đường kính ngoài : 270 mm + Đường kính trong : 50mm + Chiều cao : 115 mm	 Hình 8. Đế trên lò xo lá

3.3. Lắp ráp hệ thống



Hình 9. Quy trình lắp ráp hệ thống

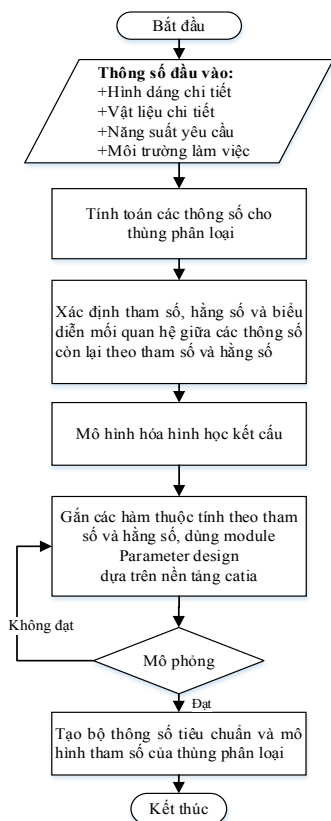


Hình 10. Kết quả lắp ráp hệ thống rung cấp nắp chai vaccine

Từ những chi tiết được mô hình hóa trên Modul Part Design tiến hành phân tách, lắp ghép thành các cụm chi tiết hay nhóm lắp ghép. Từ các cụm chi tiết này thành hệ thống cấp phối tự động theo nguyên lý rung động trên môi trường số.

4. TỰ ĐỘNG HÓA THIẾT KẾ BẰNG THAM SỐ SỬ DỤNG CATIA

Từ các thông số đầu vào như hình dạng chi tiết, thông số vật liệu, năng suất làm việc cũng như môi trường làm việc, xây dựng các hàm tham số phụ thuộc biểu thị mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và thông số đầu ra cần tính toán. Gắn các hàm thuộc tính theo tham số và hằng số. Sử dụng modul Parameter design trong phần mềm Catia để đưa ra kết quả là kết cấu của các cụm chi tiết.



Hình 11. Quy trình tham số hóa



Hình 12. Kết quả tham số hóa

5. KẾT LUẬN

Hệ thống cấp phối tự động theo nguyên lý rung động đã và đang được áp dụng rộng rãi trong sản xuất công nghiệp, hiện nay thường được áp dụng cho các loại phối có trọng lượng và kích thước nhỏ.

Nghiên cứu lý thuyết động lực học của phối cho biết được các lực tác động lên phối nằm và di chuyển trên đường dẫn hướng. Nhờ các lực tác động đó, phối sẽ có trạng thái trượt và nhảy khi di chuyển trên máng dẫn. Đồng thời cũng chỉ rõ điều kiện để phối có thể di chuyển đi lên và đi đúng hướng.

Năng suất cấp phối, thể hiện qua số lượng phối đúng hướng cấp được phụ thuộc vào góc nghiêng rãnh xoắn rãnh xoắn, tần số rung, biên độ dao động, hệ số ma sát giữa phối và kênh dẫn, kết cấu và cấu hình hệ thống bẫy phân loại. Từ đó làm cơ sở để xác định bài toán nghiên cứu giới hạn cho phối là nắp chai thuốc vaccine bằng cao su, ma sát cho cặp vật liệu là cao su và inox, dạng điều khiển theo biên độ, cố định tần số tương ứng với dạng thiết bị làm việc ở chế độ chủ động cộng hưởng.

Đã xây dựng quy trình và giải pháp tự động hóa thiết kế cho mô hình thiết bị cấp phối dạng phổ rung bao gồm mô hình hình học, mô

hình vật liệu và mô hình phần tử nhằm cung cấp dữ liệu cho các quá trình phân tích và chế tạo. ❖

Ngày nhận bài: 06/5/2025

Ngày phản biện: 26/5/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bộ Y Tế (2014), “*Hướng dẫn thực hành tốt sản xuất thuốc*”, vol. 986.
- [2]. Nguyễn Phương, Nguyễn Thị Phương Giang (2005), “*Cơ sở tự động hóa trong ngành Cơ khí*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [3]. Trần Văn Định (2006), “*Tự động hóa quá trình sản xuất*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [4]. G. Boothroyd (2005), “*Assembly automation and product design*”, vol. 66.
- [5]. D. Hofmann, H. Huang, and G. Reinhart (2013), “*Automated Shape Optimization of Orienting Devices for Vibratory Bowl Feeders*”. J. Manuf. Sci. Eng., vol. 135, no. 5, p. 51017-1-51017-6.
- [6]. H.-W. Ma and G. Fang (2015), “*Kinematics analysis and experimental investigation of an inclined feeder with horizontal vibration*”. Mech. Eng. Sci, pp. 1-11.
- [7]. E. Mucchi, R. Di Gregorio, and G. Dalpiaz (2011), “*Elastodynamic analysis of vibratory bowl feeders: Modeling and experimental validation*”. Mech. Mach. Theory, vol. 60, pp. 60-72.
- [8]. R. Chen, L. Chen, X. Wang, and X. Chen (2011), “*Dynamic design and simulation of a vibratory hopper*”. 2011 2nd Int. Conf. Artif. Intell. Manag. Sci. Electron. Commer. AIMSEC 2011 - Proc., no. October, pp. 3935-3938.
- [9]. Châu Mạnh Lực, Phạm Song (2003), “*Trang bị công nghệ và cấp phối tự động*”. Đại học Bách Khoa Đà Nẵng.
- [10]. L. Han and J. X. Gao (2010), “*A Study on the Modelling and Simulation of Part Motion in Vibratory Feeding*”. Trans Tech Publ. Switz., vol. 34-35, pp. 2006-2010.
- [11]. P. C. P. Chao and C. Y. Shen (2007), “*Dynamic modeling and experimental verification of a piezoelectric part feeder in a structure with parallel bimorph beams*”. Ultrasonics, pp. 205-218.
- [12]. X. Ding and J. S. Dai (2008), “*Characteristic equation-based dynamics analysis of vibratory bowl feeders with three spatial compliant legs*”. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 5, no. 1, pp. 164-175.
- [13]. J. A. Vilán Vilán, A. Segade Robleda, P. J. García Nieto, and C. Casqueiro Placer (2009), “*Approximation to the dynamics of transported parts in a vibratory bowl feeder*”. Mech. Mach. Theory, vol. 44, no. 12, pp. 2217-2235.