

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC NGHIÊNG CÁNH ĐẢO ĐẾN NĂNG SUẤT MÁY TRỘN NHỰA HAI TRỤC

STUDY ON THE EFFECT OF THE ANGLE OF THE BLADE STIRRER TO
PRODUCTIVITY OF PLASTIC MIXER

Nguyễn Thị Ngọc Huyền¹, Lê Đức Bảo¹, KS. Tống Đình Luân Đạt²

¹Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Viện Nghiên cứu Cơ khí

TÓM TẮT

Ngành công nghiệp nhựa ở Việt Nam đang có tốc độ phát triển nhanh và có tiềm năng lớn. Công nghệ trộn nhựa là một trong những công nghệ gia công nhựa nhằm cải thiện tính chất, màu sắc và giảm giá thành sản phẩm. Hiện nay, máy trộn đa dạng, nhiều chủng loại phục vụ cho nhiều mục đích và vật liệu trộn. Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng cánh đảo tới năng suất trộn của máy trộn nhựa ngang hai trục. Trên cơ sở mô phỏng số trộn hai vật liệu nhựa dạng hạt, kết quả chỉ ra rằng mỗi giá trị góc nghiêng để đạt tỉ lệ đồng đều hạt trộn (bằng 0,5) có thời gian khác nhau. Tỷ lệ hạt nhựa trộn đồng đều khi $\alpha=45^\circ$ đạt kết quả trong thời gian ngắn hơn, nâng cao năng suất trộn của máy trộn nhựa. Kết quả này có thể đưa ra thông số góc cánh đảo tham khảo cho thiết kế máy trộn hạt nhựa hai trục đạt hiệu quả cao, tỉ lệ hạt đồng đều.

Từ khóa: Máy trộn ngang hai trục; Góc nghiêng cánh đảo; Năng suất máy trộn.

ABSTRACT

Vietnam's plastics industry is expanding quickly and has a lot of promise. One of the technologies used in the plastic processing process to enhance characteristics, color, and lower product prices is plastic mixing technology. The variety of mixers available today serves a variety of needs and can mix a wide range of materials. This study examines the influence of the angle of the blade stirrer on the mixer productivity of a horizontal-two shaft mixer. The findings of a numerical simulation of mixing two granular plastic materials reveal that it takes a variable amount of time for each value of inclination angle to obtain a homogeneous mixing ratio (equal 0.5). When $\alpha = 45^\circ$ produces result in a shorter period of time, increasing the plastic mixer's mixing capacity. This study can provide the reference for angle of the blade stirrer to design horizontal-two shaft mixer to high efficiency, uniform mixing ratio.

Keywords: Horizontal-two shaft mixer; Angle of the blade stirrer; Mixer productivity.

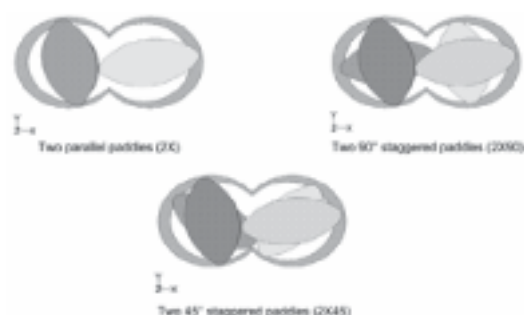
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Máy trộn nhựa là thiết bị đóng vai trò quan trọng cho quá trình chuẩn bị nhựa liệu cho mỗi quy trình gia công nhựa. Hiện nay trên thị trường, có rất nhiều dòng sản phẩm máy trộn nhựa, để phục vụ cho mỗi nhiệm vụ khác nhau mà máy cũng được chia làm nhiều loại khác nhau, cả về hình dáng lẫn cấu tạo. Phân loại theo vị trí tương quan có máy trộn nhựa đứng và máy trộn nhựa ngang; Theo cấu tạo: máy trộn hình nón, máy trộn dạng nổi quay, máy trộn dạng vận chuyển. Đối với máy trộn vận chuyển, tùy theo hình dáng của cánh trộn có các dạng: dạng băng xoắn, dạng cánh đảo, dạng vít tải [1].

Các máy trộn vận chuyển nói chung có nguyên lý làm việc là sử dụng một hoặc nhiều trục, vận chuyển vật liệu trộn theo các dòng liên tục nhằm mục đích trộn lẫn các hạt vật liệu với nhau.

Khác với dạng cánh trộn kiểu băng tải hay xoắn vít có biên dạng cánh cố định, máy trộn cánh đảo lại có thể thay đổi góc độ các tay trộn trên cánh đảo nhằm thay đổi năng suất trộn của máy. Nhờ vào việc phân tích dòng vật liệu trong quá trình trộn, ta có thể tính toán được khối lượng vật liệu trộn trong mỗi phút từ đó xác định công suất của máy. Năng suất của máy phụ thuộc vào các thông số chính như hình dạng cánh đảo, khối lượng riêng của vật liệu trộn và góc nghiêng của cánh đảo so với trục quay [3]. Đã có những nghiên cứu về mô hình hóa và tính toán công suất máy trộn dạng cánh xoắn, cho thấy mối quan hệ giữa góc nghiêng xoắn đến công suất và năng suất máy, đưa ra biểu thức tính áp lực và tính toán có kết quả không sai khác so với thực nghiệm là 5% [4]. Theo tác giả Mauereen L, Maureen L. Rathod a, Jozef L. Kokini, với vật liệu là chất lỏng phi

Newton, thông số hình học máy và điều kiện làm việc quyết định đến năng suất máy trộn [5]. Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, các tác giả Kiran V. Vyakaranam, Bharani K. Ashokan, Jozef L. Kokini đã đưa ra mô phỏng máy trộn hai trục và thực nghiệm tính toán vận tốc dòng vật liệu trộn với lưu lượng khác nhau cho kết quả về cách sắp xếp các cánh trộn trong buồng trộn theo cách 2x90 là tối ưu, cho năng suất là cao nhất, được thể hiện ở hình 1 [6].



Hình 1. Cách sắp xếp cánh trộn với ba phương án

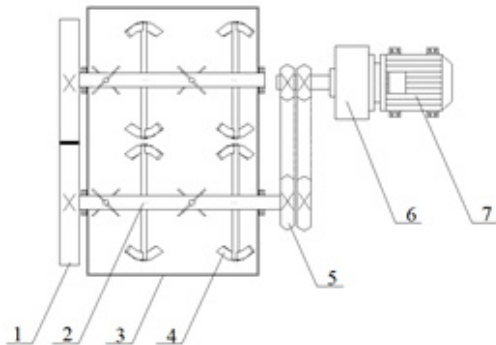
Với vật liệu hạt nhựa trộn, bài báo đưa ra nghiên cứu ảnh hưởng của góc cánh đảo với dạng máy trộn ngang hai trục trên cơ sở mô hình hóa và mô phỏng dòng vật liệu hạt nhựa nhất định, từ đó đánh giá sự thay đổi của năng suất thông qua tỉ lệ đồng đều của hạt trộn khi thay đổi giá trị góc của cánh đảo.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NĂNG SUẤT MÁY TRỘN HAI TRỤC Cánh ĐẢO

2.1. Máy trộn ngang hai trục cánh đảo

Máy trộn nhựa ngang thường dùng để trộn nguyên liệu dạng bột, dạng hạt nhựa như ABS (1,06 - 1,08 g/cm³), PP (0,95 g/cm³), PVC (1,25 - 1,46 g/cm³), v.v. Loại máy này có tốc độ vòng quay chậm nên năng suất không cao như máy trộn đứng nhưng trộn nguyên liệu đều, tỷ lệ trộn đạt 80% - 90%, có thể sử dụng cho cả nguyên liệu khô và nguyên liệu ướt. Máy

trộn nhựa trong nghiên cứu có thể trộn nhựa với kích thước hạt 2 - 3 mm, năng suất: 1000 kg/30phút. Sơ đồ động máy trộn nhựa hai trục cánh đảo được thể hiện ở hình 2.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của máy trộn nhựa hai cánh đảo

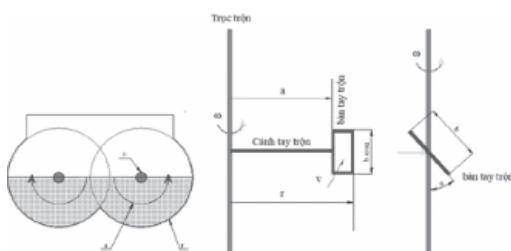
1 - Bánh răng dẫn động; 2 - Trục trộn;

3 - Vò thùng trộn; 4 - Cánh đảo;

5 - Bộ truyền xích; 6 - Hộp giảm tốc; 7 - Động cơ.

2.2. Phương pháp xác định năng suất

Máy trộn nhựa ngang hai cánh đảo là loại máy công suất lớn, mỗi chu trình làm việc một máy có thể trộn hàng tấn nhựa liệu, việc nâng cao năng suất trộn sẽ có ý nghĩa kinh tế cao đối với sản xuất. Hạt vật liệu di chuyển trong bộ phận trộn có các chuyển động sắp xếp theo đường xoắn, luân chuyển theo phương dọc trục, phương thẳng đứng và chuyển động quay vòng trong thùng trộn [2]. Dòng vận chuyển vật liệu theo phương vòng và các thông số tính toán được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Sơ đồ dòng vận chuyển theo phương vòng với thùng trộn

Công suất của động cơ dẫn động máy trộn có thể được xác định như sau [3]:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6}{1000 \cdot \eta} \quad (1)$$

Trong đó:

N_1 : Công suất để quay các bàn tay trộn trong hỗn hợp trộn [W];

$$N_1 = u \cdot K \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot \omega \cdot \frac{r^2 - a^2}{2} \quad (2)$$

N_2 : Công suất để quay các cánh tay trộn trong hỗn hợp trộn [W];

$$N_2 = u \cdot K \cdot b_1 \cdot \cos \alpha \cdot \omega \cdot \frac{r^2 - a^2}{2} \quad (3)$$

N_3 : Công suất để thắng lực ma sát sinh ra do chuyển động của vật liệu với vỏ thùng trộn [W];

$$N_3 = \mu_1 \cdot m_1 \cdot g \cdot r \cdot \omega \quad (4)$$

N_4 : Công suất để vận chuyển vật liệu đi dọc theo thùng trộn [W];

$$N_4 = \frac{\mu_1 \cdot m_2 \cdot g \cdot S \cdot \omega}{2\pi} \quad (5)$$

N_5 : Công suất để nâng vật liệu lên cao trong quá trình trộn [W];

$$N_5 = \frac{180 \cdot m_3 \cdot g \cdot r \cdot \omega \cdot \sin \theta}{\theta \cdot r} \quad (6)$$

N_6 : Công suất để thắng lực ma sát giữa hỗn hợp trộn với các cạnh của cánh trộn, bàn tay trộn và kết do yếu tố ngẫu nhiên [W];

$$N_6 = 10\% \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5) \quad (7)$$

η : Hiệu suất của truyền động cơ khí, bao gồm: Tổn thất ma sát trong các ổ đỡ trục trộn,

tổn thất ma sát do hộp giảm tốc và bộ truyền động đai..., $\eta_l = 0,8$.

Năng suất của trục trộn:

Đối với máy trộn nhựa rời, làm việc gián đoạn, năng suất của máy được xác định theo công thức [1]:

$$Q = \frac{M}{t_1 + t_2 + t_3} \quad (8)$$

Trong đó:

- Q là năng suất trộn, [kg/phút];
- M là khối lượng vật liệu mỗi mẻ trộn, [kg];
- t_1 là thời gian nạp liệu [phút];
- t_2 là thời gian trộn vật liệu [phút];
- t_3 là thời gian xả liệu [phút].

Thời gian trộn là yếu tố quyết định độ đồng đều vật liệu trộn. Mối quan hệ giữa thời gian trộn với số vòng quay được thể hiện theo công thức:

$$t \cdot n = K = \text{const} \quad (9)$$

Trong đó: t - Thời gian trộn [phút], n - Số vòng quay [vòng/ph], K - Hằng số.

Giá trị của hằng số K xác định bằng thực nghiệm, đối với máy trộn loại cánh có $d_t = (0,85 - 0,90)D$ và $H = (0,7 - 0,8)D$ thì $K = 300 - 400$.

Đối với một máy trộn có thông số kích thước cố định đối với cùng một loại vật liệu, công suất động cơ phụ thuộc vào tốc độ góc của trục chính ω và góc nghiêng của cánh đảo α , mà $\frac{n}{30\pi}$ hay $N = f(\alpha, n)$. Do đó, năng suất của máy $Q = f(t)$ hoặc $Q = f(n)$ [4].

Trong thực tế, công suất của máy là cố

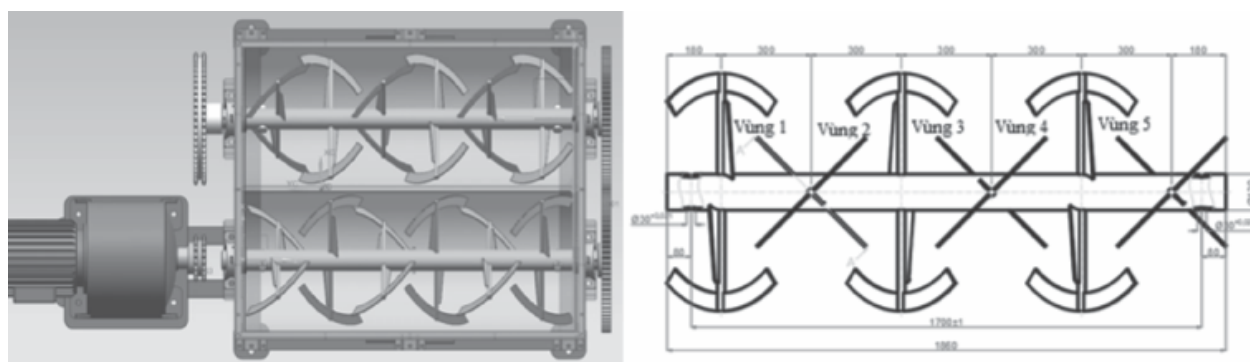
định, nên $n = f(\alpha)$ hay số vòng quay trục chính phụ thuộc vào góc nghiêng của bàn tay trộn. Trên cơ sở đó thiết lập thông số vào cho mô hình số mô phỏng dòng vật liệu trộn để đánh giá mối liên hệ giữa α và n.

3. MÔ PHỎNG SỐ DÒNG VẬT LIỆU TRỘN

Để xây dựng mô hình thực nghiệm, dữ liệu đầu vào gồm các thông số chính sau:

- Số cánh tay trộn chìm trong vật liệu: $u = 3$;
- Số cánh tay trộn: $Z = 12$;
- Hệ số cản chuyển động của bàn tay trộn trong cấp phối vật liệu: $K = 3 \cdot 10^4$ (N/m²);
- Bề rộng bàn tay trộn: $b = 0,395$ (m);
- Khoảng cách từ tâm trục trộn đến mép ngoài bàn tay trộn: $r = 0,395$ (m);
- Bán kính trục trộn: $r_1 = 0,060$ (m);
- Khoảng cách từ tâm trục trộn đến mép trong bàn tay trộn: $a = 0,335$ (m);
- Chiều dày cánh tay trộn: $b_1 = 0,025$ (m);
- Hệ số ma sát giữa vật liệu và vỏ thùng trộn: $\mu_1 = 0,65$;
- Bước vít: $S = 1$ (mm);
- Góc chân nón của vật liệu trên bàn tay trộn: $\beta = 20^\circ$;
- Góc ma sát động: $\theta = 20^\circ$.

Lựa chọn động cơ có công suất $N = 50\text{kW}$, thay vào công thức (1), tính được công suất của máy trộn $N = 50000$ [W]. Để đưa vào nghiên cứu thực nghiệm, ta chọn giá trị α thuộc dải góc từ 30 đến 60 độ, đây được coi là góc lắp đặt tối ưu cho cánh đảo [7, 8]. Với khối lượng vật liệu trộn là $M = 1$ tấn, với mỗi giá trị của α thời gian và tốc độ trộn tương ứng. Mô hình thùng trộn và cánh đảo được thể hiện ở hình 4. 

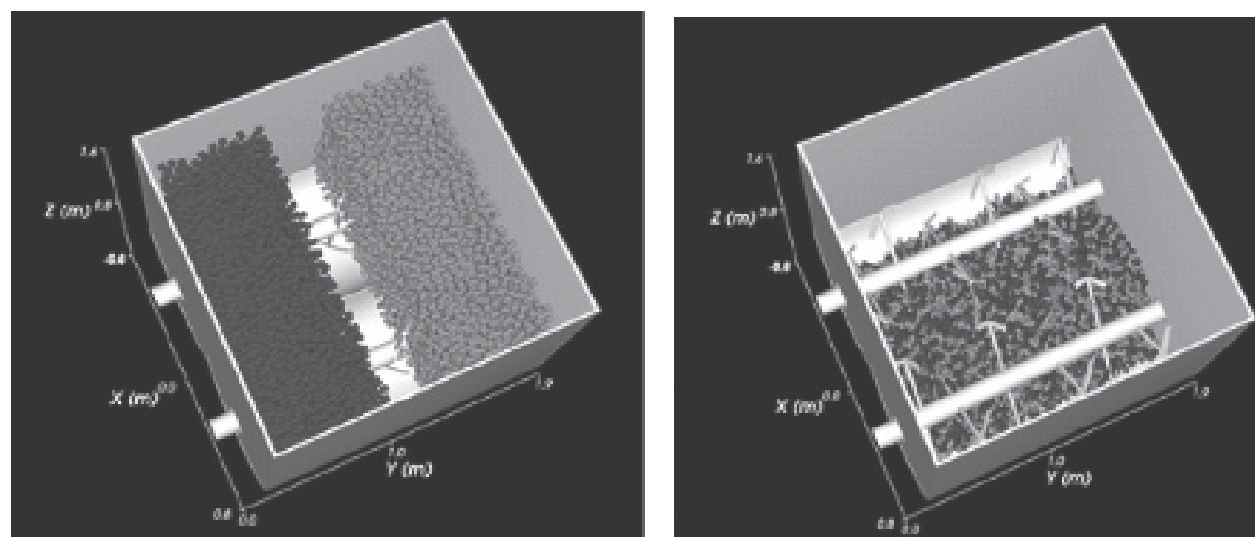


Hình 4. Mô hình thùng trộn và bố trí cánh đảo

Tiến hành mô phỏng dòng vật liệu trộn trên phần mềm ANSYS, vật liệu nhựa được sử dụng nguyên sinh: ABS với hai màu xanh, đỏ có khối lượng riêng $\rho = 1060 \text{ (kg/m}^3\text{)}$. Mô phỏng với góc nghiêng lần lượt là $\alpha = 30^\circ$; $\alpha = 45^\circ$; $\alpha = 60^\circ$ với tốc độ trục quay tương ứng. Chia thùng theo chiều dài trục thành 05 khoảng đều nhau, có thể tích như nhau. Việc đánh giá tỉ lệ hạt đỏ/hạt xanh trên các đơn vị thể tích tương đương nhau sẽ cho kết quả đánh giá về độ đồng đều giữa hai loại hạt ở các khu vực trên mỗi đơn vị thời gian.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô phỏng trộn các mô hình trong cùng thời gian $t = 20$ phút. Kết quả mô phỏng được thể hiện ở hình 5.



a) Trước khi trộn

b) Kết quả sau khi trộn

Hình 5. Mô phỏng trước khi trộn và kết quả mô phỏng sau khi trộn

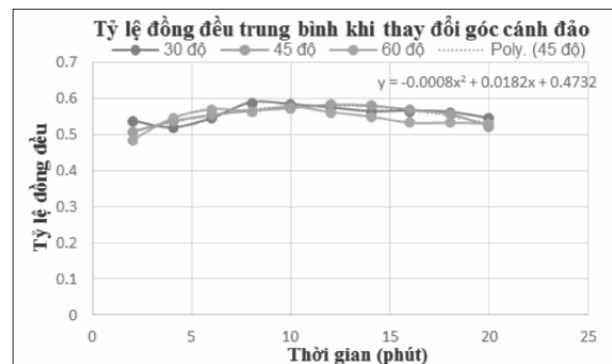
Với góc $\alpha = 30^\circ$, góc $\alpha = 45^\circ$, góc $\alpha = 60^\circ$, tỷ lệ hạt đỏ/hạt xanh ở các khu vực theo thời gian được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Tỷ lệ hạt đỏ/hạt xanh góc cánh đảo thay đổi.

t (phút)	Góc $\alpha = 30^\circ$					Góc $\alpha = 45^\circ$					Góc $\alpha = 60^\circ$				
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
2	0.0026	0.0083	0.5389	0.9949	0.9971	0.0013	0.0084	0.5073	0.9883	1	0.0046	0.0081	0.4848	0.9824	0.9997
4	0.0024	0.0537	0.5201	0.9235	0.9954	0.0015	0.0612	0.5368	0.8848	0.9965	0.0086	0.0492	0.5445	0.8774	0.9993
6	0.0078	0.1723	0.5459	0.7831	0.9732	0.0065	0.1927	0.5536	0.756	0.965	0.0098	0.1779	0.5704	0.7414	0.9738
8	0.0316	0.2974	0.5897	0.68	0.896	0.0172	0.3442	0.5662	0.6638	0.872	0.0241	0.3118	0.5657	0.6797	0.8899
10	0.0683	0.3591	0.5846	0.6323	0.8115	0.0577	0.4603	0.573	0.6058	0.7483	0.0557	0.4057	0.578	0.6308	0.7958
12	0.1146	0.4357	0.5753	0.597	0.719	0.1083	0.5286	0.5827	0.5398	0.6455	0.1146	0.458	0.5621	0.5621	0.7126
14	0.1678	0.4747	0.565	0.5846	0.6495	0.1615	0.5532	0.5806	0.5265	0.5851	0.1753	0.4981	0.55	0.5528	0.6441
16	0.2145	0.4752	0.5665	0.5659	0.6029	0.2135	0.5496	0.569	0.522	0.5495	0.237	0.5163	0.5328	0.5548	0.5867
18	0.2477	0.4916	0.5631	0.5427	0.5613	0.2622	0.5539	0.5569	0.5105	0.5275	0.2882	0.5196	0.5328	0.5284	0.5639
20	0.2966	0.4891	0.5456	0.5555	0.53334	0.2992	0.5461	0.5233	0.5274	0.5067	0.3236	0.5311	0.5313	0.509	0.5405

Từ bảng số liệu cho thấy, khu vực 1 (khu vực ở đầu trục trộn) có thời gian để đạt độ đều là lâu nhất. Khu vực cuối trục là khu vực để dòng vật liệu chuyển hướng và di chuyển ngược lại, theo đó dòng vật liệu sẽ bị dồn và va chạm vào thành của thùng trộn, lượng vật liệu ngoài tầm cánh tay sẽ bị ứ khiến cho độ đều của khu vực này lâu đạt tới giá trị 0,5. Đồng thời, dòng vật liệu dịch chuyển theo ngược chiều kim đồng hồ, bắt đầu từ vị trí trục trộn nên đây là khu vực có độ đồng đều thấp hơn cả.

Dựa vào hình 5, bảng 1, cho thấy theo thời gian, các đường màu tượng trưng cho tỉ lệ q của các khu vực có xu hướng chuyển dịch về giá trị 0,5, điều này có nghĩa nhựa trong mỗi khu vực trở nên đều hơn. Khoảng cách giữa đường biểu thị cho độ đồng đều vật liệu chung trong thùng. So sánh tỷ lệ đồng đều khi thay đổi góc $\alpha = 30^\circ$, góc $\alpha = 45^\circ$, góc $\alpha = 60^\circ$ được biểu diễn trên hình 6.



Hình 6. Đồ thị so sánh tỷ lệ trộn đồng đều với góc cánh đảo thay đổi

Hình 6 cho thấy với góc nghiêng $\alpha = 45^\circ$ gần với hàm lý thuyết với hệ số tương quan $R^2 = 0,972$, mối quan hệ giữa thời gian trộn và tỷ lệ trộn đồng đều (càng gần với 0,5) có hàm hồi quy phi tuyến dạng: Hàm tỷ lệ $q = -0,0008t^2 + 0,0182t + 0,4732$ (10). Giá trị q càng gần với 0,5 càng thể hiện lượng nhựa trên khu vực đó đã được trộn đều đến hơn 90% [8, 9].

Mô hình góc nghiêng $\alpha = 45^\circ$ và $\alpha = 60^\circ$ cho kết quả trộn khá tương đồng nhau, cho thấy hai góc trộn này đạt hiệu quả trộn cao hơn. Tuy nhiên, lượng nhựa ở các khu vực trong thùng trộn với góc $\alpha = 45^\circ$ có thời gian đạt độ đồng đều ($q = 0,5$) nhanh hơn và có năng suất cao nhất, hiệu quả trộn đồng đều cao nhất. Đánh giá năng suất của máy trộn nhựa dựa trên tỷ lệ trộn đồng đều và thời gian tối ưu để đạt tỷ lệ đó. ❖

Ngày nhận bài: **05/9/2022**

Ngày phản biện: **24/9/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lê Hồ Viên; "Các máy gia công vật liệu rắn và dẻo - Tập 2", NXB. Khoa học và Kỹ thuật; 2003.
- [2]. Thuyền TNV, Ngọc; TNA; "Nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước thùng trộn đến công suất tiêu thụ riêng của động cơ dẫn động máy trộn bê tông xi măng hai trục nằm ngang", Tạp chí Giao thông Vận tải, 2020;07(81):86-8.
- [3]. Thuyền TNV, Vĩnh PTNV, Điệm; PTNĐ; "Nghiên cứu xây dựng công thức tính công suất của động cơ dẫn động máy trộn bê tông xi măng hai trục ngang. Tạp chí Giao thông Vận tải. 2016;07(57):89-92.
- [4]. Konovalov VV, Teryushkov VP, Chupshev AV, Konovalov VV, Mishanin AL.; *Modeling of the power of the drive of the spiral mixer*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;488(1).
- [5]. Vyakaranam KV, Ashokan BK, Kokini JL.; *Evaluation of effect of paddle element stagger angle on the local velocity profiles in a twin-screw continuous mixer with viscous flow using Finite Element Method simulations*. Journal of Food Engineering. 2012;108(4):585-99.
- [6]. Rathod ML, Kokini JL.; *Effect of mixer geometry and operating conditions on mixing efficiency of a non-Newtonian fluid in a twin screw mixer*. Journal of Food Engineering. 2013;118(3):256-65.
- [7]. Nguyễn Văn Hợp, Phạm Thị Nghĩa, Lê Thiện Thành (2000); *Máy trục vận chuyển*, NXB. Giao thông Vận tải.
- [8]. V. Kushnir, N. Gavrilov, S. Kim; *Justification of the Design of the Two-shaft Mixer of Forages*. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016.
- [9]. Hongshen Zhang, Pan Feng, Wuquan Ying; *Abrasive wear and optimal installation angle of concrete double horizontal shaft mixer stirring blades*, 2020.
- [10]. Nan-Xi Li, Hai-Ying Cheng and Jiang Liu; *Reliability optimization analysis of blades of the mixer based on stress-strength interference model*. Department of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot, Inner Mongolia, 010051, P.R. China, 2019.
- [11]. Wei Gao, Lei Liu, Zechu Liao, Shunhua Chen, Mengyan Zang, Yuanqiang Tan; *Discrete element analysis of the particle mixing performance in a ribbon mixer with a double U shaped vessel*, 2018.