

MÔ HÌNH TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ GIỚI HẠN TRONG HỆ THỐNG BĂNG TẢI ỚNG

Numerical model of the critical parameters in the system of pipe conveyor

Nguyễn Thanh Nam¹, Hoàng Đức Liên²

SUMMARY

During the design process of the pipe conveyors, until now we have to use a number of experimental data for critical parameters. That limits our activities in the design of many pipe conveyor systems in practice. Through this paper, the author would like to introduce some simple numerical models for critical parameter's calculation, which are already verified with experimental data. These formulas will help us to complete a design process for different systems pipe conveyor.

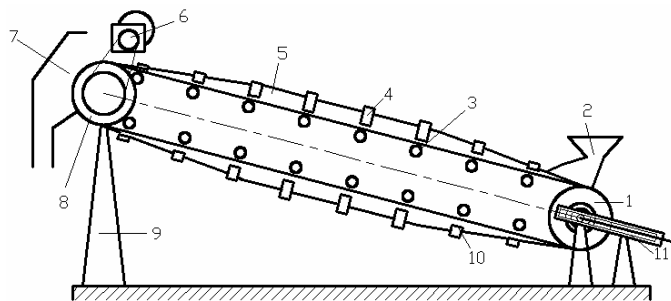
Key words: Critical parameter, numerical model, pipe conveyor

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống băng tải ống là bước đột phá trong kỹ thuật vận chuyển băng tải. Việc vận chuyển vật liệu trên băng tải ống đã khẳng định ưu thế trước các băng tải thông thường nhờ các ưu điểm nổi bật như: 1) Có khả năng vận chuyển xa, linh hoạt trong các địa hình mà các băng tải truyền thống bị giới hạn như uốn cong, dốc; 2) Không làm hao phí vật liệu vận chuyển trước các điều kiện của thời tiết và không làm ô nhiễm môi

trường xung quanh; 3) Thiết kế nhỏ gọn, chiếm ít diện tích lắp đặt nhưng công suất làm việc thì không hề thua kém các băng tải truyền thống.

Với các ưu điểm trên, băng tải ống thật sự là một lựa chọn hợp lý cho việc vận chuyển vật liệu rời ở khoảng cách lớn không thẳng, thay thế cho các loại băng tải truyền thống, đặc biệt là với các loại vật liệu nhạy cảm với môi trường như: phân bón, sản phẩm nông nghiệp, than đá, đá vôi, xi măng...



Hình 1. Sơ đồ hệ thống băng tải ống

1- Tang dẫn; 2- Phễu cấp liệu; 3- Con lăn đỡ băng tải; 4- Con lăn định hình ống cho băng tải; 5- băng tải; 6- Hệ thống truyền động; 7- Phễu tháo liệu; 8- Tang bị dẫn; 9- Chân giá; 10- Con lăn cuốn ống; 11- Cụm điều chỉnh sức căng băng

¹ Khoa Cơ khí, Đại học Bách khoa TP HCM

² Khoa Cơ - Điện, Đại học Nông nghiệp I

Nguyên lý làm việc của băng tải ống (hình 1): Theo Nguyễn Thanh Nam (2004): Băng tải ống (5) được mắc qua tang dẫn (1) và tang bị dẫn (8). Băng được đỡ và định hình dạng ống nhờ các bộ con lăn (4). Khi làm việc, băng được làm căng bằng cơ cấu đối trọng hoặc vít me (11). Khi tang dẫn động quay sẽ kéo băng chuyển động, vật liệu qua phễu tiếp liệu (2) rơi xuống mặt băng và được vận chuyển đến cửa tháo liệu (7). Khi băng làm việc, nhánh chứa vật liệu được gọi là nhánh có tải, còn nhánh phía dưới không chứa vật liệu gọi là nhánh không tải (hay nhánh trở về).

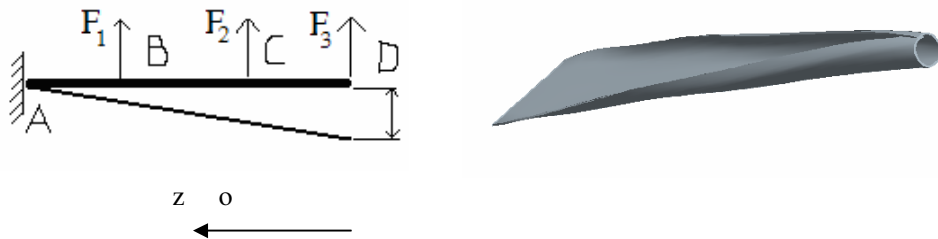
Băng tải sau khi nhận liệu từ phễu nạp liệu sẽ cuốn tròn nhờ các bộ con lăn dẫn hướng (10), bao lấy vật liệu và vận chuyển, do đó sẽ bảo vệ vật liệu khỏi tác động của môi trường cũng như bảo vệ môi trường khỏi tác động của vật liệu. Đối với đoạn trở về, băng cũng được cuốn tròn nhờ các bộ con lăn, bề mặt mang vật liệu được cuốn vào trong bảo vệ vật liệu còn dính trên băng tải không bị rơi vãi ra ngoài. Chỉ có một số vùng, tại đó băng tải ở trạng thái mở là ở tại đầu và cuối băng tải.

Các thông số giới hạn của băng tải ống: Bên cạnh những tính năng đặc biệt, băng tải ống cũng có nhiều yêu cầu chuyên biệt liên quan tới chiều dài các đoạn chuyển tiếp; khoảng cách giữa các bộ con lăn; bán kính cong tối thiểu có thể đạt được và góc nâng của

băng tải ống. Các thông số giới hạn này của băng tải ống cho đến nay vẫn được sử dụng các kết quả từ các nghiên cứu thực nghiệm (Wachter D, 1990; Maton, 2000; Loeffler, 2000) nên hạn chế khả năng tính toán thiết kế các hệ thống băng tải ống trong thực tế. Thông qua công trình này tác giả đề xuất một số mô hình tính toán đơn giản các thông số giới hạn của băng tải ống được kiểm chứng thông qua so sánh với các kết quả thực nghiệm. Đây sẽ là cơ sở tốt cho việc xây dựng quy trình tính toán thiết kế các hệ thống băng tải ống.

2. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ GIỚI HẠN

Chiều dài đoạn chuyển tiếp: Tại đoạn chuyển tiếp đầu nạp liệu, băng tải thay đổi từ dạng phẳng sang dạng ống, các con lăn bên dưới được đặt đúng trọng tâm và sẽ chịu hầu hết tải trọng của vật liệu. Tại phần bắt đầu có hình dạng ống, bộ con lăn đặc biệt được sử dụng gồm sáu con lăn bố trí dạng đa giác đều tạo hình dạng cuộn tròn cho băng tải. Đồng thời với những bộ con lăn này, những bộ con lăn dẫn hướng đặc biệt ở đoạn chuyển tiếp được sử dụng để ép dần các cạnh băng từ dạng phẳng sang dạng cuộn tròn hình ống. Chiều dài của đoạn chuyển tiếp giữa tang đầu vào tới phần có dạng ống và từ phần dạng ống tới tang xả liệu là hàm của đường kính ống băng tải (hình 2).



Hình 2. Sơ đồ đoạn chuyển tiếp trong hệ thống băng tải ống

Xét đoạn chuyển tiếp có độ dài là L_{ct} , giả thiết ống như thanh nằm ngang chịu tác động của 3 phân lực của các con lăn lên ống ngược chiều với lực đàn hồi của ống F_1, F_2, F_3 . Thanh gồm một đầu cố định và một đầu

chuyển vị khỏi vị trí cân bằng một đoạn bằng đường kính ống D . Các lực đàn hồi tỷ lệ với độ dịch chuyển khỏi vị trí cân bằng: $F_3 = 3.F_1; F_2 = 2.F_1; F_1 = k.D/3 = P$ (với k là hệ số tỷ lệ). Đặt $L_{ct} = 3.a, M_x$ là moment uốn tại

vị trí có tọa độ z ta có phương trình vi phân của đường đàn hồi:

$$y'' = -\frac{M_x}{EI_x} = -C.M_x$$

$$\text{Với } c = \frac{1}{EI_x} = \text{const} \quad (2.1)$$

Giải phương trình vi phân đường đàn hồi, chú ý điều kiện biên về độ võng và góc xoay ta có:

$$y(z) = \left(\frac{1}{2}Pz^3 - 18Pa^2z + \frac{113}{3}Pa^3 \right) C \quad (2.2)$$

do tại vị trí D độ chuyển vị $y(0) = D$ nên ta có: $\frac{113}{3}CPa^3 = D$

$$\text{Với } C = \frac{1}{EI_x} \quad (E = 8.10^6 N/m^2 \text{ với băng}$$

vải cao su); $I_x = \frac{1}{2} \left(\pi D + 2 \frac{\pi}{18} D \right)^3 s$ (s : \square dày băng tải); cạnh ống phủ lên nhau 1 góc $\frac{\pi}{18}$; $a = L/3$, biến đổi công thức trên ta sẽ nhận được công thức xác định chiều dài đoạn chuyển tiếp của băng tải ống như sau:

$$Lct = \sqrt[3]{\frac{243}{113} \frac{\left(\pi D + 2 \frac{\pi}{18} D \right)^3 s}{12} E \frac{1}{k}} \quad (2.3)$$

Khoảng cách giữa các bộ con lăn:
Khoảng cách giữa các bộ con lăn phụ thuộc vào kích thước băng tải ống và vật liệu vận chuyển, chúng cũng rất khác nhau tùy theo vị trí thuộc đoạn thẳng hay uốn cong.

a) Trường hợp trên đoạn thẳng (hình 3):
Ta coi đoạn băng tải ống như một dầm chịu tải trọng phân bố đều, con lăn đóng vai trò gối đỡ, thanh sẽ bị uốn và có chuyển vị theo phương thẳng đứng.

$$\text{Với: } C = \frac{1}{EI_x} \quad (E = 8.10^6 (N/m^2);$$

$$I_x = 0,05 \times (D^4 - D'^4); \quad D = 2R \text{ và } D' = 2R - 2s$$

R - bán kính của băng tải;

s - chiều dày của băng tải

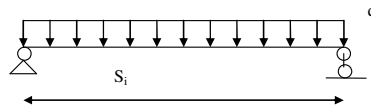
Ta có phương trình của đường đàn hồi:

$$y = \frac{qL^3}{24EI_x} \left(1 - 6 \frac{z^2}{L^2} + 4 \frac{z^3}{L^3} \right) \quad (2.4)$$

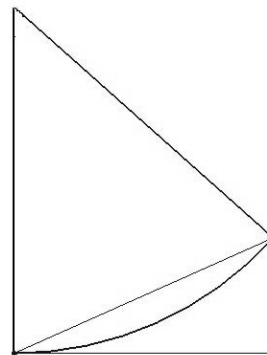
Tại $z = L/2$ ta có chuyển vị là lớn nhất:

$$y_{Max} = \frac{5qL^4}{384EI}$$

$$\text{Với } q = \rho \pi R^2 g = 2350.3,14.9,8.R^2 = 72314,2.R^2:$$



Hình 3. Mô hình chịu tải của băng tải ống



Hình 4. khoảng cách giữa các bộ con lăn trên đoạn cong

$L = S_i$. Chọn chuyển vị lớn nhất không vượt quá 0.05 lần khoảng cách giữa các con lăn (Loeffler F.J., 2000) ta có:

$$y_{Max} = \frac{5qS_i^4}{384EI} < 0.05 S_i \quad (2.5)$$

Theo đó, khoảng cách lớn nhất giữa các bộ con lăn có thể xác định bằng công thức:

$$S_i = \sqrt[3]{\frac{0.192 * E * [16 * R^4 - 16 * (R - 0.012)^4]}{\varphi g \pi R^2}} \quad (2.6)$$

b) Trường hợp trên đoạn ống cong (hình 4): Ta có bán kính cong lớn hơn rất nhiều so với đường kính ống nên góc đỉnh θ là nhỏ, hay $\sin\theta \sim \tan\theta \sim \theta = D/R$. Trong trường hợp này băng tải chịu 2 biến dạng: biến dạng uốn cong ống và biến dạng chuyển vị đứng của ống do vật liệu tác động lực lên băng tải nên chuyển vị tổng của băng tải sẽ là: $y' = y_{max} + y_2$

trong đó: $y_2 = R(1 - \cos(\theta/2)) \approx S_i^2/R$ (biến dạng do uốn cong ống).

$$y = \frac{5qS_i^4}{384EI} + \frac{S_i^2}{R_C} \leq 0.05 S_i$$

Với R_C là bán kính đoạn uốn cong

$$\frac{5qS_i^3}{384EI} + \frac{S_i}{R_C} \leq 0.05$$

Giải phương trình $\frac{5qS_i^3}{384EI} + \frac{S_i}{R_C} = 0.05$ ta

được giá trị S_i hay nói cách khác trong trường hợp trên đoạn uốn cong ta có khoảng cách giữa các đoạn uốn cong là nghiệm của phương trình:

$$\frac{5qS_i^3}{384EI} + \frac{S_i}{R_C} = 0,05 \quad (2.7)$$

$$\Rightarrow \frac{R}{R_{min} + D/2} = \frac{dz}{dl} \Rightarrow \frac{\delta dz}{dz} = \frac{dl - dz}{dz} = \frac{D}{2R_{min}}$$

$$R_{min} = \frac{DE}{2\sigma_z} \quad (2.8)$$

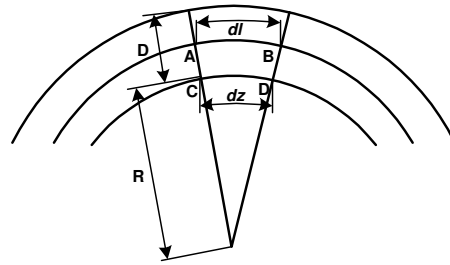
trong đó: R_{min} là bán kính cong tối thiểu của ống;

σ_z - ứng suất của vật liệu (với cao su $\sigma_z = 13,5.10^3$ (N/m²)).

Góc nâng của băng tải ống: Băng tải ống có thể vượt qua các đường dốc nghiêng hơn các băng tải thông thường do thiết diện tròn gia tăng khả năng tiếp xúc giữa vật liệu và băng tải giúp tăng thêm góc nâng.

Bán kính đoạn uốn cong: Băng tải ống có khả năng uốn cong theo cả hai mặt phẳng thẳng đứng và nằm ngang. Các đoạn uốn cong chỉ bắt đầu sau khi băng tải đã hoàn thành giai đoạn chuyển tiếp và có dạng hình ống.

Xét một đoạn băng tải tiết diện tròn đường kính D uốn cong với bán kính R (hình 5). Khi chưa bị uốn cong ống có dạng hình trụ tròn xoay nên khi uốn cong đường trung hoà là trục ống.



Hình 5. Bán kính đoạn uốn cong

Khi ống bị uốn cong phần bên trong bị nén phần bên ngoài bị giãn. Độ biến dạng phụ thuộc vào bán kính cong R_{min} .

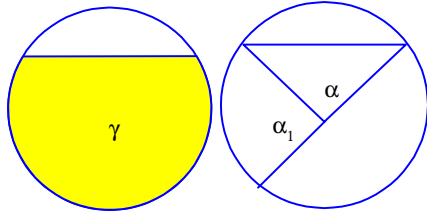
Xét một đoạn dl rất bé, ta có:

$$\Delta OCD \approx \Delta OAB \Rightarrow \frac{OC}{OA} = \frac{CD}{AB}$$

Xét một mặt cắt có độ làm dầy γ như hình vẽ, tính góc mở α theo độ làm dầy γ .

$$\text{Ta có: } \gamma \pi r^2 = \pi r^2 - \alpha r^2/2 + \sin(\alpha)r^2/2;$$

r - bán kính của băng tải.



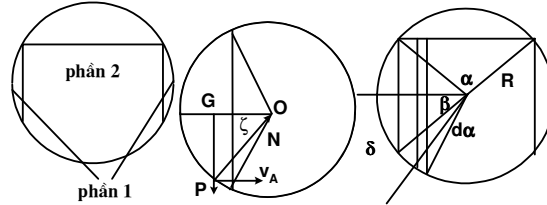
Hình 6. Mặt cắt ngang băng tải ống

Giải phương trình trên ta thu được góc mở α theo γ . Tính toán cân bằng lực trên băng tải, ta chia phần khối lượng của băng tải làm hai phần như trên hình 7:

a) Lực do phần 1 tác động: Ta xem phần vật liệu nằm ở phần diện tích bên của băng tải có khối lượng M đặt tại trọng tâm G . Băng tải tác động vào vật liệu một lực N hướng tâm. N tạo với phương ngang góc ξ .

Ta có giá trị của ξ :

$$\cos \xi = \frac{OG}{R} = \frac{y_3}{R} = \frac{\frac{4}{3} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{2}{3} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sin(\alpha)}{\alpha - \sin(\alpha)} \quad (2.9)$$



Hình 7. Phân tích lực trong mặt cắt ngang băng tải ống

Để hệ cân bằng thì: $N \cdot \cos(\xi) = P$

Gọi V_A là thành phần theo phương ngang của N ta có:

$$V_A = P \cdot \cotg(\xi) \quad (2.10)$$

Do lực tác động theo phương ngang không chỉ gây ra do phần dưới của ống mà còn do phần trên tác động nên lực tổng cộng là:

$$N_1 = 2 \cdot V_A \quad (2.11)$$

b) Lực do phần 2 tác động: Chia phần còn lại của mặt cắt chứa vật liệu làm nhiều phần mỗi phần ứng với góc đá nhìn từ tâm O của mặt cắt (hình 7):

$$dS = (\gamma \pi R^2 / 2 - S_3) d\alpha / \alpha$$

Xét trên 1m băng tải. Ta có phần khối lượng tương ứng với từng phần diện tích là:

$$m_3 = \rho S_3$$

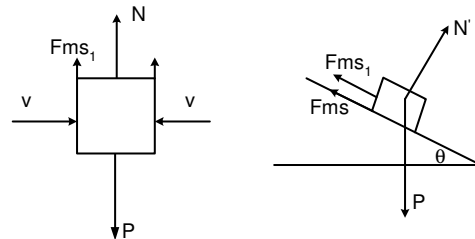
$$dm = \rho dS = \rho (\gamma \pi R^2 / 2 - S_3) d\alpha / \alpha$$

lực do phần khối lượng đó tác động lên thành ống theo phương ngang cũng là lực do thành ống tác dụng vào theo phương ngang:

$$dV_B = g \cdot dm \cdot \cotan(\delta) = g \rho (\gamma \pi R^2 / 2 - S_3) \cdot d\delta / \alpha \cdot \cotan(\delta);$$

với $\alpha_1 / 2 \leq \delta \leq \pi / 2$.

Do $\delta = \alpha_1 / 2 + \alpha$ nên $d\delta = d\alpha$ (δ là góc tạo bởi phần tố đá và phương ngang). Lực do nửa phần ống bên trái tác dụng lên vật liệu là:



Hình 8. Tổng hợp lực tác dụng trong băng tải ống

$$\begin{aligned}
V &= V_A + \int dV_B = V_A + \int_{\pi/2}^{\alpha/2} g\gamma \rho(\pi R^2/2 - S_3) d\delta/\alpha_0 * \cotan(\delta) \\
&= g \rho(\pi\gamma R^2 - S_1)/\alpha_0 * \int_{\pi/2}^{\alpha/2} \cot g(\delta) d\delta + g\rho S_1.\cotan(\xi) \\
V &= -g\rho(\pi\gamma R^2 - S_1).\ln[\sin(\alpha/2)]/\alpha + g\rho S_1.\cotg(\xi) \tag{2.12}
\end{aligned}$$

Có thể phân tích các lực tác dụng trong băng tải ống như sau:

$$P = \gamma\rho g\pi R^2 \tag{2.13}$$

$F_{msl} = kV$; với k - hệ số ma sát

Xét trong mặt phẳng chứa trục thanh nghiêng góc θ so với phương ngang. Ta có

$F_{msv} = 2.F_{msl}$ (do lực tác động hai bên bằng nhau)

Để vật liệu vận chuyển không bị trượt trên băng tải:

$$F_{ms} \geq P \cos\theta$$

Tại góc nâng lớn nhất, dấu “=” xảy ra.

$$F_{ms} = P.\cos\beta \tag{2.14}$$

Từ công thức (2.14) có thể xác định được giá trị góc nâng lớn nhất β .

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Bán kính con tối thiểu: So sánh các giá trị tính toán và thực nghiệm, ta thấy chúng không khác nhau nhiều, điều này chứng tỏ hoàn toàn có thể sử dụng công thức xác định bán kính cong tối thiểu trong tính toán thiết kế hệ thống băng tải ống (bảng 1).

Bảng 1. Bán kính cong tối thiểu trong tính toán thiết kế hệ thống băng tải ống

Đường kính ống (mm)	Bán kính cong tối thiểu (thực nghiệm) R_{MIN} (m) [1]	Bán kính cong tối thiểu (tính toán) R_{MIN} (m)
150	45	44,44
200	60	59,26
250	75	74,074
300	90	88,89
350	105	103,7
400	120	118,52
500	150	148,15
600	180	177,78
700	210	207,407
850	225	251,85

Góc nâng lớn nhất: Tiến hành tính toán cho trường hợp có độ điền đầy là 0.7 và hệ số ma sát 0,7 rồi phân tích sự khác biệt giữa kết quả tính toán với các giá trị thường chọn trong thực tế: góc nâng thường được chọn nhỏ hơn nhiều so

với giá trị tính toán lý thuyết để bảo đảm an toàn trong quá trình làm việc của hệ thống băng tải ống. Kết quả cũng cho thấy khả năng góc nâng của băng tải ống còn có thể gia tăng nếu chất lượng của các thiết bị cho phép (bảng 2).

Bảng 2. Góc nâng lớn nhất của băng tải ống với đường kính ống khác nhau

Đường kính ống (mm)	Góc nâng lớn nhất (tính toán) của băng tải ống β (độ)	Góc nâng thường dùng của băng tải ống β (độ)
150	68,1828	30
200	68,1828	30
250	68,1828	30
300	68,1828	30
350	68,1828	30
400	68,1828	30
500	68,1828	30
600	68,1828	30
700	68,1828	30
850	68,1828	30

Xem xét sự thay đổi của góc nâng trong trường hợp thay đổi độ điện dây γ của ống có đường kính $D = 0,2(m)$ và hệ số ma sát là $0,7$, ta cũng thấy rõ khi độ điện dây càng cao thì ma sát giữa vật liệu vận chuyển với nhau và với băng tải sẽ càng lớn và do đó khả năng nâng cao vật liệu cũng sẽ càng tăng (bảng 3).

Bảng 3. Góc nâng lớn nhất của băng tải ống với các độ điện dây khác nhau

Độ điện dây	Góc nâng (tính toán) lớn nhất của băng tải ống β (độ)
0,5	20,7835
0,55	53,7829
0,6	61,7847
0,65	65,8688
0,7	68,1828
0,75	69,5889
0,8	70,3173
0,85	70,6648
0,9	70,6828

Chiều dài đoạn chuyển tiếp và khoảng cách giữa các bộ con lăn: So sánh chiều dài đoạn chuyển tiếp và khoảng cách giữa các bộ con lăn được tính toán bằng các công thức triển khai bên trên và kết quả đúc kết từ thực nghiệm của tác giả (Maton, 2000) cho những trường hợp có đường kính ống khác nhau, ta cũng thấy chúng không khác nhau nhiều và có thể sử dụng các công thức trong tính toán thiết kế hệ thống băng tải ống (bảng 4).

Bảng 4. Chiều dài đoạn chuyển tiếp và khoảng cách giữa các bộ con lăn

Đường kính ống (mm)	Khoảng cách (tính toán) giữa các bộ con lăn(m)	Khoảng cách (thực nghiệm) giữa các bộ con lăn (m)	Chiều dài (tính toán) đoạn chuyển tiếp (m)	Chiều dài (thực nghiệm) đoạn chuyển tiếp (m)
150	1,3	1,2	3,8	3,8
200	1,44	1,5	5,067	5,2
250	1,56	1,6	6,334	6,4
300	1,66	1,7	7,6	7,6
350	1,74	1,8	8,867	8,8
400	1,84	1,9	10,134	10,2
500	1,99	2,0	12,667	12,8
600	2,11	2,2	15,2	15,2
700	2,23	2,3	17,734	17,8
850	2,38	2,4	21,534	21,6

4. KẾT LUẬN

Mô hình tính toán các thông số giới hạn của băng tải ống được kiểm chứng thông qua so sánh với các kết quả thực nghiệm đã khẳng định khả năng ứng dụng những công thức xác định thông số giới hạn trong tính toán thiết kế các hệ thống băng tải ống, đồng thời cũng cho ta thấy rõ ưu thế của hệ thống băng tải ống so với các loại băng tải thông thường với khả năng nâng cao, uốn cong và che kín vật liệu vận chuyển của mình.

Công trình nhận được sự cộng tác tích cực của nhóm SVVP2003, tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Maton A.E.(2000). *Turbular Pipe Conveyor Design using a standard fabric belt*, Bulk Solids Handling Journal, Vol.20, N^o:1, pp. 57-65.
- Loeffler F.J. (2000). *Pipe/Tube Conveyors - A Modern Method of Bulk Materials Transport*, Bulk Solids Handling Journal, Vol.20, No:4, pp. 112-119.
- Wachter D. (1990). *Innovative Handling of Tailings using the Pipe Conveyor System*, Bulk Solids Handling Journal, Vol.10, No:3, pp. 86-95.
- Nguyễn Thanh Nam (2004). *Nghiên cứu triển khai thiết kế chế tạo băng tải ống*, Báo cáo nghiệm thu đề tài NCKH cấp thành phố HCM.

