

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ ĐỘNG LỰC HỌC CỦA MÁNG TRỌNG LỰC VẬN CHUYỂN VẬT LIỆU

Lưu Đức Thạch¹, Nguyễn Ngọc Linh², Vũ Anh Tuấn³, Đoàn Hữu Trường⁴

Tóm tắt: Các loại máng trượt và máng con lăn trọng lực được sử dụng với nhiệm vụ chủ yếu là vận chuyển hoặc chuyển hướng vật liệu từ băng tải đến các thiết bị vận chuyển khác (băng tải khác, xe vận chuyển...). Các loại máng này sử dụng trọng lực để vận chuyển vật liệu, chúng được áp dụng trong nhiều lĩnh vực, có hiệu quả kinh tế cao. Các máng con lăn dùng để vận chuyển vật liệu dạng hộp, bao, thùng. Các máng trượt có thể vận chuyển các loại vật liệu nêu trên và cả vật liệu rời. Ở nước ta hiện nay chưa có những nghiên cứu chuyên sâu về vấn đề này. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định các thông số động lực học của máng trọng lực vận chuyển vật liệu, phục vụ cho việc tính toán thiết kế các loại máng này trong nước là hết sức cần thiết.

Từ khóa: máng trượt, máng con lăn trọng lực, thông số động lực học

Summary: In material handling, sliding chutes and gravity roller chutes are usually used to convey or transfer material from one belt conveyor to another one or to transport device. The conveying method of these chutes uses gravity, which brings the high economic effect in many applications. The roller chutes are used to convey the material in the types of box, bag, or case. The sliding chutes also convey the same types of material and the bulk material. At present, there is no deep understanding of these device in our country. Hence, the research on the dynamical parameters of gravity chutes which is used to calculate and design in domestic is necessary.

Keywords: sliding chutes, gravity roller chutes, the dynamical parameters

Nhận ngày 13/5/2012, chỉnh sửa ngày 14/9/2012, chấp nhận đăng 15/12/2012

1. Đặt vấn đề

Các loại máng trượt và máng con lăn trọng lực thường được sử dụng với nhiệm vụ chủ yếu là vận chuyển hoặc chuyển hướng vật liệu rời, vật liệu khối từ một máy vận chuyển liên tục đến các thiết bị vận chuyển khác (băng tải khác, xe vận chuyển..). Nhờ sử dụng trọng lực để vận chuyển, các loại máng này có ưu điểm là kết cấu đơn giản, không tốn năng lượng dẫn động, dễ sử dụng, có hiệu quả kinh tế cao. Máng trọng lực được ứng dụng rất rộng rãi trong tất cả các lĩnh vực sản xuất, vận chuyển, lưu kho, từ nhà máy chế biến thực phẩm, sản xuất dược phẩm trang thiết bị y tế đến các nhà máy sản xuất xi măng, nhà máy chế biến thép... đến các công việc tạm thời như ở bến cảng hay trong công trường xây dựng.

Hiện nay trên thế giới các máng trượt và máng con lăn trọng lực được tính toán, tiêu chuẩn hóa và chế tạo thành các vật thể khối, bao bì... với mẫu mã đa dạng, phong phú, các

¹TS, Khoa Cơ khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: luuducthach@gmail.com

²ThS, Trường Cao đẳng Xây dựng số 1.

³KS, Khoa Cơ khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng.

⁴KS, Trường Đại học Giao thông vận tải.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

thông số hình học được cho trước trong các catalogue của nhà sản xuất nên rất tiện lợi cho việc lựa chọn lắp đặt khi có nhu cầu. Mặt khác, các tài liệu được sử dụng trong lựa chọn, lắp đặt máng cũng sẵn có [2,3,4,5].

Ở Việt Nam, mặc dù các máng trượt và máng con lăn trọng lực đã được sử dụng nhiều, nhưng chưa có một tài liệu nào đề cập đến việc tính toán các thông số của máng phục vụ cho việc ứng dụng thiết kế một cách cụ thể. Tài liệu [1] đã đề cập đến máng con lăn, nhưng mới chỉ dừng ở việc tính toán sơ bộ máng con lăn dẫn động, mà chưa đề cập đến tính toán máng con lăn trọng lực. Nội dung của bài báo này tập trung nghiên cứu động lực học máng con lăn trọng lực vận chuyển vật liệu dạng khối. Kết quả tính toán được trình bày dưới dạng giải tích và đã được áp dụng cho việc thiết kế, chế tạo và lắp đặt một máng con lăn trọng lực vận chuyển bao xi măng tại Việt Nam.

2. Xác định các thông số cơ bản của máng con lăn trọng lực

Máng con lăn trọng lực dùng để vận chuyển vật liệu (tải) dạng khối, thường nằm giữa các máy vận chuyển trong hệ thống máy vận chuyển liên tục, có hai loại phổ biến là máng thẳng và máng cong. Năng suất vận chuyển của máng con lăn được xác định theo công thức:

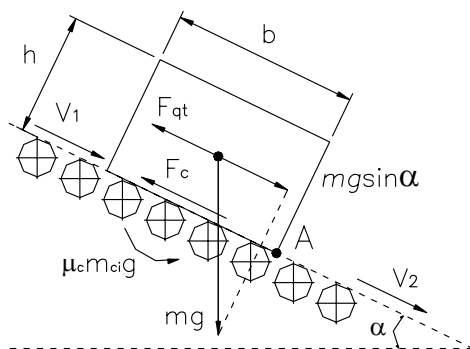
$$Q = \frac{mv}{l}$$

với l là khoảng cách giữa các tải, m là khối lượng một đơn vị tải, v là vận tốc di chuyển của tải.

Trong thiết kế hệ thống máy vận chuyển, việc lựa chọn, bố trí và điều chỉnh các máy hay thiết bị vận chuyển phụ thuộc vào thông số quan trọng nhất là năng suất. Có thể thấy năng suất phụ thuộc vào ba thông số v , m và l . Thông số khối lượng m của tải thường là cố định với một hệ thống vận chuyển cụ thể, hai thông số còn lại đóng vai trò là các thông số điều chỉnh. Đối với máng trọng lực, tải di chuyển nhanh dần đều trong máng do ảnh hưởng của trọng lực và chênh lệch cao độ giữa hai đầu máng, do đó thông số vận tốc của tải là một hàm phụ thuộc các thông số hình học của máng, của các vận tốc giới hạn tại đầu vào và đầu ra máng.

2.1 Động lực học máng con lăn trụ

Cho một tải có khối lượng m di chuyển trên một mặt phẳng nghiêng so với mặt phẳng nằm ngang một góc α tạo bởi các con lăn đỡ có đường kính d . Do tác dụng của trọng lực, tải sẽ chuyển động có gia tốc trên các con lăn từ đầu đến cuối máng (hình 1). Các ngoại lực tác dụng lên tải bao gồm: trọng lực, lực quán tính của tải khi chuyển động nhanh dần đều, lực cản lăn của các ổ đỡ con lăn và lực cản lăn giữa tải và các con lăn.



Hình 1. Mô hình cơ học của tải trong máng con lăn trụ

Theo định luật II Newton, phương trình chuyển động của tải là:

$$F_{dd} - F_c - F_{qt} = 0 \quad (1)$$

trong đó: Lực dẫn động do trọng lực của tải và độ dốc máng:

$$F_{dd} = mg \sin \alpha \quad (2)$$

Lực cản chuyển động do ma sát:

$$F_c = \mu mg \cos \alpha + \mu_c \sum_{i=1}^n m_{ci} g \quad (3)$$

với μ là hệ số cản lăn của tải trên các con lăn; μ_c là hệ số cản lăn của ổ đỡ con lăn; m_{ci} là khối lượng của con lăn đỡ tải, n là số con lăn đỡ tải.

Lực quán tính tác dụng vào tải:

$$F_{qt} = ma \quad (4)$$

Mặt khác, gia tốc của tải được xác định theo công thức:

$$a = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2S_t} \quad (5)$$

với V_1 là vận tốc của tải khi vào máng; V_2 là vận tốc của tải khi ra khỏi máng; S_t là chiều dài làm việc của máng.

Từ (1), (2), (3), (4) và (5), ta có

$$V_2 = \sqrt{\frac{\left(mg \sin \alpha - (\mu mg \cos \alpha + \mu_c \sum_{i=1}^n m_{ci} g) \right) 2S_t}{m}} + V_1^2 \quad (6)$$

Điều kiện tối thiểu để tải có thể di chuyển được trên máng tương ứng với vận tốc của tải khi vào máng $V_1 = 0$ là:

$$F_{dd} \geq F_c \quad (7)$$

Áp dụng đẳng thức lượng giác $a \sin x + b \cos x = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(x + \varphi)$, $\varphi = \arctan(b/a)$, $a \geq 0$ thay vào (7), góc nghiêng nhỏ nhất cho phép của máng được xác định:

$$\alpha \geq \arcsin \left(\frac{\mu_c \sum_{i=1}^n m_{ci}}{m \sqrt{1 + \mu^2}} \right) + \arctan \mu \quad (8)$$

Nếu góc nghiêng của máng quá lớn có thể làm tải bị lật quanh điểm A. Điều kiện để tải không bị lật là:

$$\frac{M_g}{M_l} \geq k_{od} \quad (9)$$

trong đó: $M_g = \frac{mgb \cos \alpha}{2}$ là mô men giữ cho tải không bị lật; $M_l = \frac{mgh \sin \alpha}{2}$ là mô men gây lật cho tải; k_{od} là hệ số ổn định; b là chiều dài của tải; h là chiều cao của tải.

Từ công thức (9), xác định được góc nghiêng lớn nhất cho phép của máng:

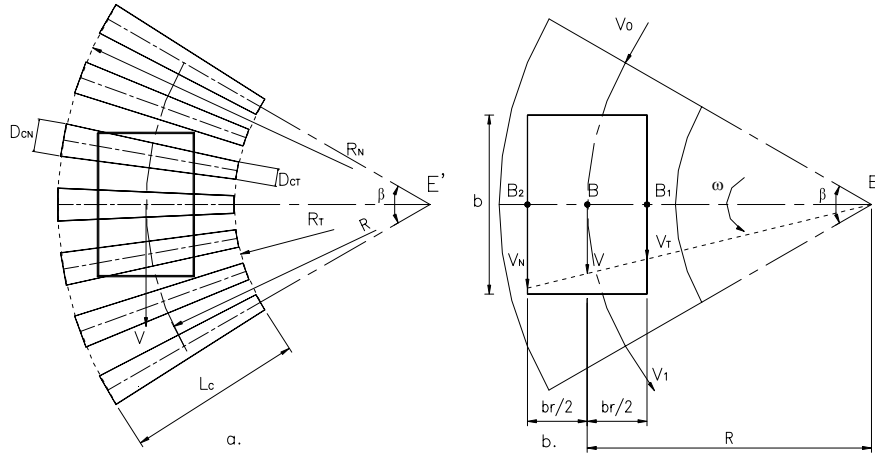
$$\alpha \leq \arctan\left(\frac{1}{k_{od}} \frac{b}{h}\right) \quad (10)$$

Từ (8) và (10), phạm vi góc nghiêng cho phép của máng thẳng là:

$$\arcsin\left(\frac{\mu_c \sum_{i=1}^n m_{ci}}{m\sqrt{1+\mu^2}}\right) + \arctan \mu \leq \alpha \leq \arctan\left(\frac{1}{k_{od}} \frac{b}{h}\right) \quad (11)$$

2.2 Động lực học máng con lăn côn

Với máng con lăn côn, tải di chuyển trên một đường cong dạng xoắn ốc trong không gian (hình 2a). Quỹ đường di chuyển của tải tại bán kính cong phía ngoài lớn hơn quỹ đường di chuyển tại bán kính cong phía trong, vì vậy, để đảm bảo định tâm cho tải, các con lăn trong máng côn thường có dạng hình côn để vận tốc tại mép phía ngoài tải lớn hơn vận tốc tại mép phía trong tải (hình 2b) và tạo lực hướng tâm để duy trì hướng chuyển động (hình 3).



Hình 2. Máng con lăn côn

Khi tải chuyển động trên máng con lăn côn do tác dụng của trọng lực, các ngoại lực tác dụng lên tải bao gồm: trọng lực, lực quán tính của tải khi chuyển động nhanh dần đều, lực quán tính ly tâm, lực cản ma sát của các ổ đỡ con lăn và lực cản lăn giữa tải và các con lăn. Chuyển động của tải có thể phân thành hai chuyển động đồng thời là chuyển động với vận tốc vòng V do tác dụng của góc nghiêng máng và chuyển động hướng tâm do tác dụng của góc côn con lăn và ma sát giữa tải và con lăn.

Các thông số hình học cơ bản của máng con lăn côn bao gồm: Góc nghiêng của máng so với mặt phẳng ngang $\alpha = \arctan\left(\frac{180h_c}{\pi R\beta}\right)$, chiều dài trung bình của máng cong

$S_c = \sqrt{\left(\frac{\pi R\beta}{180}\right)^2 + h_c^2}$, với R là bán kính cong trung bình của máng; β là góc của cung cong máng; h_c là chênh lệch độ cao giữa điểm đầu và cuối của máng cong theo phương đứng.

Tương tự như trường hợp máng con lăn trụ, ta có phương trình chuyển động của tải do trọng lực:

$$F_{dd} - F_{c1} - F_{qt} = 0 \quad (12)$$

Vận tốc của tải tại đầu vào và đầu ra máng V_0, V_1 tương ứng là:

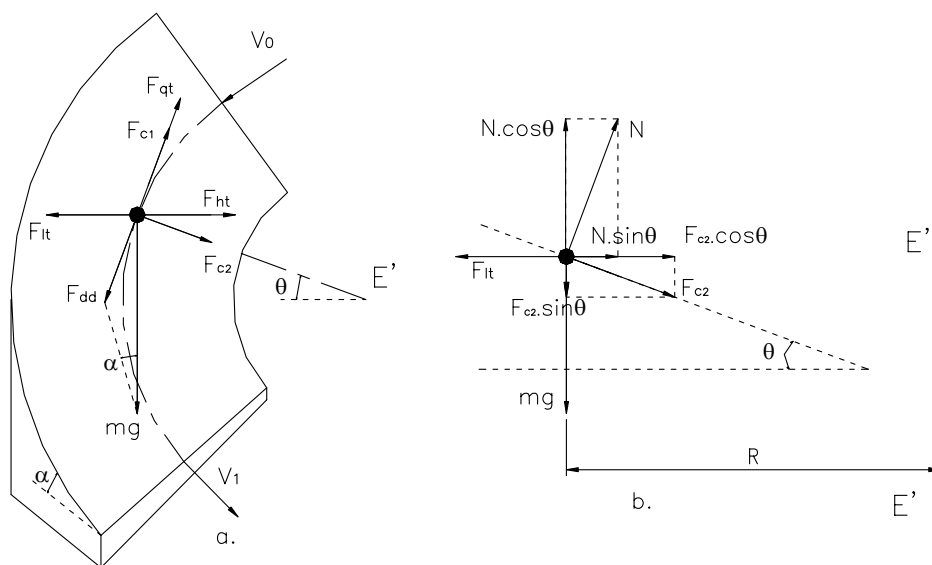
$$V_1 = \sqrt{\frac{\left[mg \sin \alpha - (\mu mg \cos \alpha + \mu_c \sum_{i=1}^n m_{ci} g) \right] 2S_c}{m} + V_0^2} \quad (13)$$

Góc nghiêng tối thiểu của máng để tải có chuyển động ứng với vận tốc đầu vào $V_0 = 0$:

$$\alpha \geq \arcsin \left(\frac{\mu_c \sum_{i=1}^n m_{ci}}{m \sqrt{1 + \mu^2}} \right) + \arctan \mu \quad (14)$$

Góc nghiêng tối đa cho phép để vật không bị lật khi di chuyển trên máng cong:

$$\alpha \leq \arctan \left(\frac{1}{k_{od}} \frac{b}{h} \right) \quad (15)$$



Hình 3. Mô hình cơ học của tải chuyển động trong máng con lăn côn

Đường kính trong, đường kính ngoài và góc nghiêng của con lăn côn xác định theo các công thức:

$$\frac{D_{NC}}{D_{TC}} = \frac{R_N}{R_T} \quad (16)$$

$$\theta = \arctan \frac{D_{NC} - D_{TC}}{2L_c} \quad (17)$$

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

trong đó R_I, R_N là bán kính trong và bán kính ngoài của đoạn máng cong; D_{TC}, D_{NC} là đường kính trong và đường kính ngoài của con lăn côn; L_c là chiều dài con lăn côn; θ là của góc côn của con lăn.

Xét mặt cắt ngang máng theo hình 3b. Vì tải chuyển động trên cung cong bán kính R nên sẽ xuất hiện lực quán tính ly tâm có giá trị

$$F_{lt} = mV^2 / R \quad (18)$$

Lực ly tâm có xu hướng làm tải bị lệch hướng chuyển động. Các thành phần lực hướng tâm giúp cho tải duy trì hướng chuyển động là lực cản ma sát trượt giữa tải với con lăn và trọng lực của tải tác dụng lên con lăn côn, được xác định thông qua định phân lực pháp tuyến N . Từ phương trình cân bằng lực theo chiều lên mặt phẳng đứng:

$$N \cos \theta = mg + F_{c2} \sin \theta \quad (19)$$

với lực cản ma sát $F_{c2} = \mu_t N$, μ_t là hệ số ma sát trượt giữa tải và con lăn, xác định được phản lực N :

$$N = \frac{mg}{\cos \theta - \mu_t \sin \theta} \quad (20)$$

Lực hướng tâm được xác định theo công thức:

$$F_{ht} = N \sin \theta + F_{c2} \cos \theta \quad (21)$$

hay
$$F_{ht} = \frac{\tan \theta + \mu_t}{1 - \mu_t \tan \theta} mg \quad (22)$$

Điều kiện để tải duy trì hướng chuyển động là:

$$F_{lt} \leq F_{ht} \quad (23)$$

Xác định được vận tốc lớn nhất cho phép của tải để duy trì hướng chuyển động

$$V \leq \sqrt{\frac{\tan \theta + \mu_t}{1 - \mu_t \tan \theta}} Rg \quad (24)$$

2.3 Khảo sát động lực học hệ thống máng con lăn trọng lực vận chuyển bao xi măng

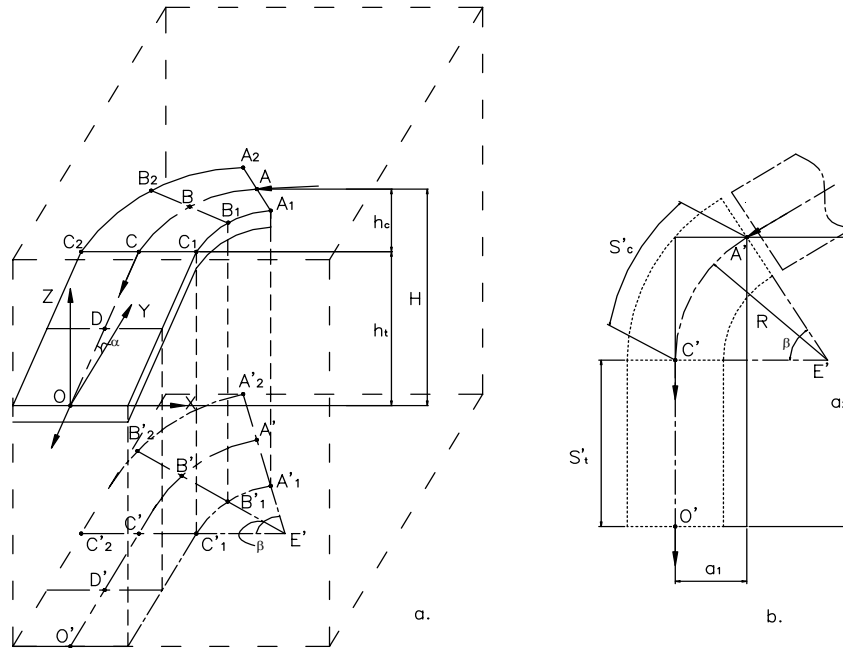
2.3.1 Các thông số tính toán thiết kế

Nhà máy nghiền Hiệp Phước là chi nhánh của Công ty xi măng Chinfon - Hải Phòng được xây dựng từ năm 2003, trong khu công nghiệp Hiệp Phước, huyện Nhà Bè – TP. Hồ Chí Minh chuyên sản xuất xi măng từ clinker vận chuyển vào bằng đường thủy do Công ty Chinfon - Hải Phòng cung cấp.

Theo yêu cầu của nhà máy, cần phải thiết kế, chế tạo và lắp đặt máng vận chuyển trọng lực cho băng tải vận chuyển bao xi măng thành phẩm từ máy đóng bao đến Shiploader (thiết bị xếp bao xi măng xuống tàu). Máng con lăn gồm hai đoạn: đoạn cong ABC và đoạn thẳng CO (hình 4).

Trên hình 4, gốc tọa độ đặt tại điểm O là đầu ra của máng đến Shiploader, điểm A là đầu vào của máng nối với băng tải. Bao xi măng sẽ đi từ điểm A với vận tốc là V_1 (băng vận tốc của băng tải là 1m/s) theo một cung cong ABC đến điểm C với vận tốc là V_2 và chuyển sang đoạn

thẳng CO, đến điểm O bao xi măng sẽ có vận tốc V_3 (không được lớn hơn vận tốc của băng tải Shiploader là 1,5 m/s). Như vậy, vận tốc của bao xi măng khi ra khỏi máng yêu cầu phải nằm trong khoảng $1\text{ m/s} \leq V_3 \leq 1,5\text{ m/s}$ để đảm bảo cho các bao xi măng không bị dón ứ ở trên băng tải, trên máng, cũng như trên Shiploader. Bao xi măng có các kích thước dài $b = 0,6\text{ m}$; rộng $r = 0,4\text{ m}$; cao $h = 0,15\text{ m}$, khối lượng $m = 50\text{ kg}$.



Hình 4. Tọa độ máng con lăn theo yêu cầu thực tế

Các thông số hình học của máng con lăn được xác định theo các kích thước thực tế như sau (Bảng 1):

Bảng 1: Các thông số hình học cơ bản của máng con lăn trọng lực vận chuyển bao xi măng

Thông số	Đoạn máng cong	Đoạn máng thẳng
Bán kính trung bình của máng cong	$R = 950\text{ mm}$	
Góc của cung cong ABC	$\beta = 58^\circ$	
Chiều dài con lăn	$B_c = 589\text{ mm}$	$L_c = 650\text{ mm}$
Số con lăn của máng	10	22
Đường kính con lăn	$D_{CN} = 110\text{ mm}$	$d = 76\text{ mm}$
	$D_{CT} = 59\text{ mm}$	
Góc nghiêng của máng	α	α
Chiều cao máng	h_c	h_t
Chiều dài máng	S_c	S_t
Chiều cao toàn bộ máng	H	
a_1	446 mm	
a_2	1896 mm	

Các thông số chiều cao h_c , h_t , chiều dài của các đoạn máng được xác định theo các công thức sau:

$$h_t = H - h_c \quad (25)$$

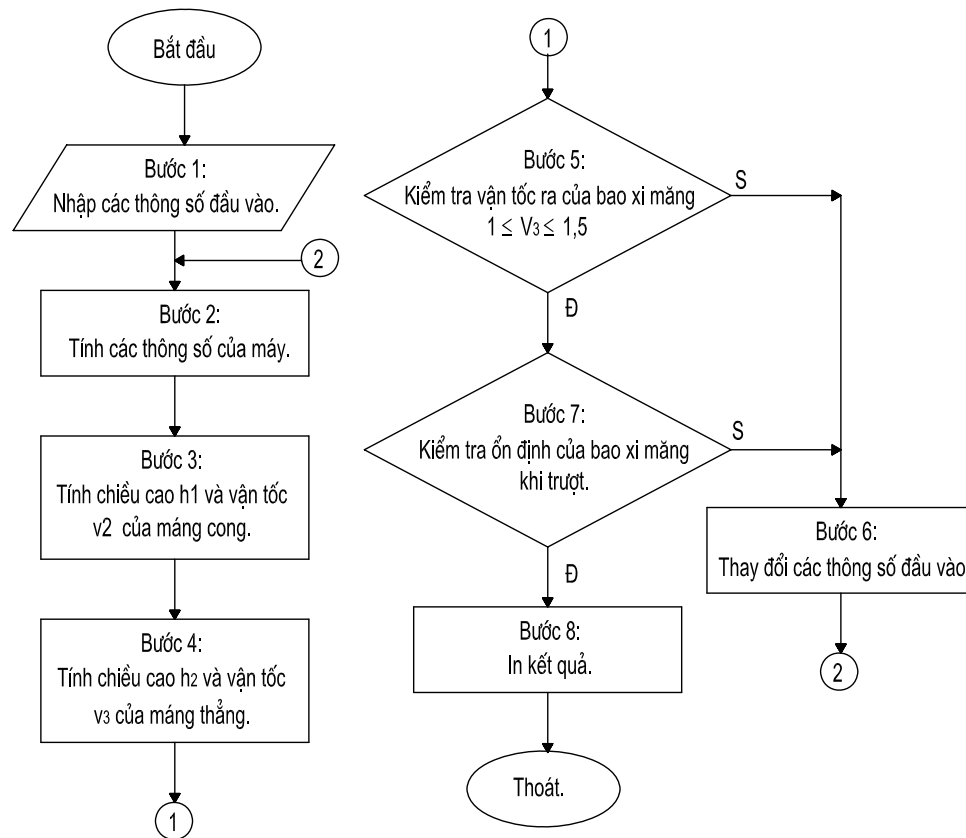
$$h_c = \frac{\pi R \beta}{180 S_t} h_t \quad (26)$$

$$S_t = \sqrt{h_t^2 + (a_2 - \sqrt{2R^2 - 2R^2 \cos \beta - a^2})^2} \quad (27)$$

$$S_c = \sqrt{\left(\frac{\pi R \beta}{180}\right)^2 + h_c^2} \quad (28)$$

2.3.2 Sơ đồ khối khảo sát các thông số động lực học của máng

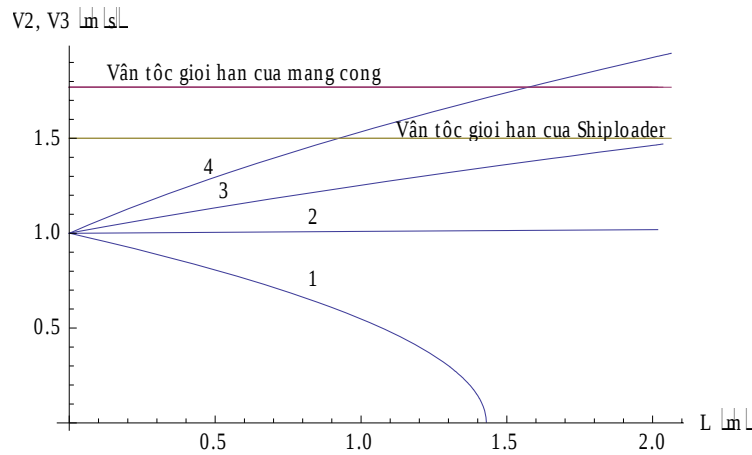
Các thông số ban đầu của máng con lăn trọng lực sau khi được tính toán sơ bộ sẽ được sử dụng để tính toán kiểm tra các thông số động lực học của tải cũng như các thông số hình học của máng. Quy trình thực hiện theo sơ đồ khối hình 5.



Hình 5. Sơ đồ khối khảo sát máng con lăn

2.3.3. Kết quả khảo sát

a. Ảnh hưởng của chiều cao máng đến tốc độ chuyển động của bao xi măng

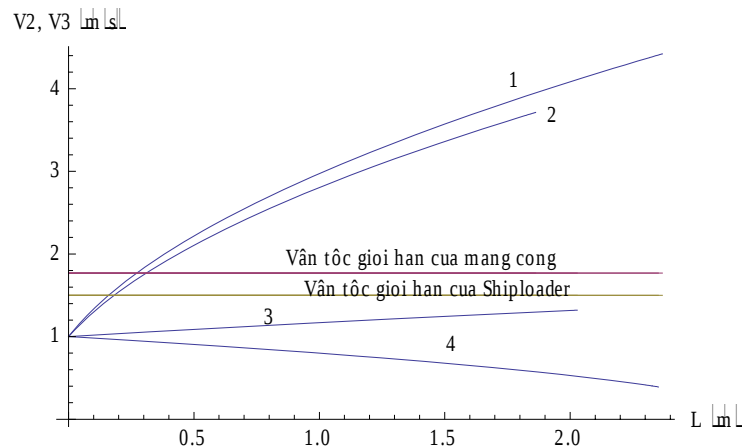


Hình 6. Ảnh hưởng của chiều cao máng đến tốc độ chuyển động của bao xi măng
Đường số 1, khi $h = 0,7m$; Đường số 2, khi $h = 0,8m$; Đường số 3, khi $h = 0,88m$;
Đường số 4, khi $h = 0.9m$

Nhận xét: theo đồ thị hình 6, ta thấy rằng:

- Với thông số ban đầu của chiều cao máng là $h=0,7m$, thì vận tốc bao xi măng ra khỏi máng cong V_2 rất nhỏ, khi đến đầu đoạn máng thẳng không còn đủ vận tốc để trượt tiếp.
- Với đường cong số 2 và số 4 thì vận tốc bao xi măng V_3 ra khỏi máng là quá nhỏ hoặc quá lớn, không đáp ứng được yêu cầu công nghệ.
- Với đường cong số 3, vận tốc của bao xi măng trên máng cong đáp ứng được yêu cầu công nghệ và khi ra khỏi máng thẳng vận tốc của bao xi măng $V_3 \approx 1,5m/s$. Vì vậy, ta có thể chọn chiều cao toàn bộ của máng con lăn trong khoảng $h = 0,8 \div 0,88m$.

b. Ảnh hưởng độ cong của máng đến tốc độ chuyển động của bao xi măng



Hình 7. Ảnh hưởng của độ cong máng đến tốc độ chuyển động của bao xi măng
Đường số 1, khi $\beta = 45^\circ$; Đường số 2, khi $\beta = 55^\circ$; Đường số 3, khi $\beta = 60^\circ$;
Đường số 4, khi $\beta = 65^\circ$

Nhận xét: theo đồ thị hình 7, ta thấy rằng:

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

- Khi độ cong của máng nhỏ (đường cong số 1 và 2) làm cho chiều dài làm việc của máng cong nhỏ, vận tốc của bao xi măng di chuyển trên máng lớn $V_3 > 1,5\text{m/s}$, do đó, bao xi măng có thể bị dồn ứ trên Shiploader.

- Khi độ cong của máng quá lớn (đường 4), chiều dài của máng cong tăng, vận tốc của bao xi măng chuyển động chậm dần, có thể xảy ra hiện tượng dồn ứ bao xi măng ở trên máng cong.

- Với đường cong số 3, bao xi măng chuyển động đáp ứng được yêu cầu công nghệ, vì vậy, ta chọn độ cong của máng $\beta \approx 60^\circ$.

2.3.4 Ứng dụng cụ thể

Từ các kết quả nghiên cứu và khảo sát, chúng tôi đã ứng dụng cho việc thiết kế, chế tạo và lắp đặt và bàn giao máng con lăn trọng lực cho nhà máy nghiền Hiệp Phước. Hiện nay máng con lăn trọng lực này đang hoạt động tốt (hình 8).



Hình 8. Hoạt động của máng con lăn trọng lực

3. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu lý thuyết và khảo sát bằng số, đã xác định được các thông số động lực học của máng con lăn trọng lực, làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế, chế tạo và lắp đặt máng con lăn trọng lực cho nhà máy nghiền Hiệp Phước

Các kết quả nghiên cứu này còn có thể ứng dụng cho máng con lăn trọng lực vận chuyển các hàng hóa khác.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Hồng Ngân, Nguyễn Danh Sơn (2004), *Kỹ thuật nâng chuyển - tập 2, Máy vận chuyển liên tục*, Nxb Đại học Quốc gia TP.Hồ Chí Minh.
2. D.Stuart Dick and T.A.Royal (2002), *Design Principles for Chutes to handle Bulk Solids*.
3. Conveyor Product Section of MHI (2004), *Application Guidelines for Gravity Roller and Wheel Conveyors Prepared*.
4. CEMA (2008), *Unit handling conveying system*.
5. Rene' Seiler (2010), *Design Manual for Light Belt Conveyor Installations*.