

Khảo sát động lực học và điều khiển của hệ thống lấy mẫu than tự động sử dụng tại dự án Sông Hậu 1

Nguyễn Thái Minh Tuấn¹, Phạm Thành Chung^{1,*}
Đỗ Thế Dương¹ và Phan Đăng Phong²

¹ Bộ môn Cơ học ứng dụng, Đại học Bách khoa Hà Nội

² Viện Nghiên cứu cơ khí

*Email: chung.phamthanh@hust.edu.vn

Tóm tắt. Hệ thống lấy mẫu than (coal sampling unit) là một khâu không thể thiếu được trong cả quy trình tiếp nhiên liệu tới các lò đốt cho nhà máy nhiệt điện. Chức năng của chính của hệ thống này là kiểm tra tính đồng nhất của dòng nguyên liệu than trên băng tải vận chuyển tới lò đốt. Hệ thống này bao gồm nhiều cụm thiết bị phức tạp như bộ phận lấy mẫu, nghiền mẫu, vận chuyển và thu thập mẫu đến phân tích thành phần mẫu. Việc phân tích quá trình động lực của cả hệ thống như vậy là tương đối phức tạp. Bài báo này tập trung chủ yếu vào việc khảo sát động lực học của hai cơ cấu quan trọng: búa lấy mẫu và hệ thống con lăn nghiền vật liệu. Ngoài ra, một phương án thiết kế bộ điều khiển búa lấy mẫu cũng được đề xuất.

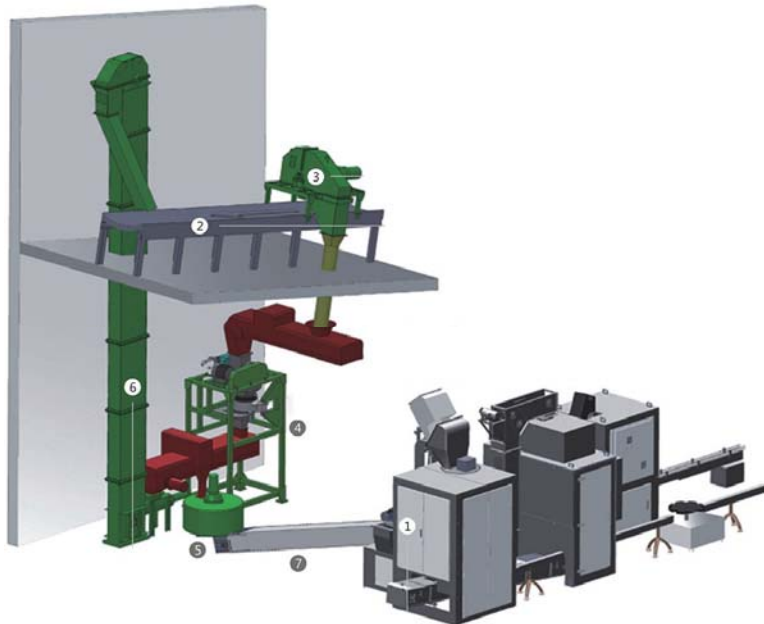
Từ khóa: coal sampling unit, lấy mẫu than, búa lấy mẫu, con lăn nghiền.

1. Mở đầu

Hiện nay, nhiệt điện đóng một vai trò hết sức quan trọng trong việc cung cấp phần lớn lượng điện cho sản xuất và sinh hoạt của Việt nam. Trong các nhà máy nhiệt điện đốt than, việc kiểm soát chất lượng than đưa đến các hệ thống lò đốt là một nhu cầu thiết thực và có tính quyết định tới hiệu năng sản xuất điện của các nhà máy nhiệt điện.

Để kiểm soát độ ổn định của nguồn nhiên liệu than đưa tới các lò đốt của các tổ máy, bên cạnh các hệ thống tách lọc tạp chất như hệ thống sàng rung, hệ thống khử từ, hệ thống phát hiện kim loại sớm, v.v... thì hệ thống lấy mẫu than là một khâu không thể thiếu được trong cả quy trình tiếp liệu.

Than từ bãi than hoặc bãi tập kết được chuyển trên các băng tải. Tại vị trí cần lấy mẫu (hình 1 - mô phỏng 3D bằng phần mềm SolidWorks dựa theo bản vẽ 2D [1]), một thiết bị lấy mẫu tự động lấy một phần than từ dòng than đang di chuyển trên băng tải. Thiết bị thu thập than này thường có dạng thìa xúc hay búa quay. Phần than mẫu sau khi rời khỏi băng tải tiếp tục được dẫn trong hệ thống ống và phễu để đưa tới thiết bị nghiền mẫu dạng con lăn. Sau khi được nghiền, than được làm khô và



Hình 1. Mô hình hệ thống lấy mẫu than tự động
1- Hệ thống chuẩn bị mẫu, 2- Băng tải,
3- Búa lấy mẫu, 4- Bộ chia và nghiền, 5- Thu thập mẫu,
6- Thang nâng gàu xúc, 7- Băng tải khép kín

ống và phễu để đưa tới thiết bị nghiền mẫu dạng con lăn. Sau khi được nghiền, than được làm khô và

lọc lấy các hạt kích cỡ phù hợp để phân tích chất lượng. Việc lấy mẫu để xác định kích cỡ được thực hiện hoàn toàn tự động bằng máy.

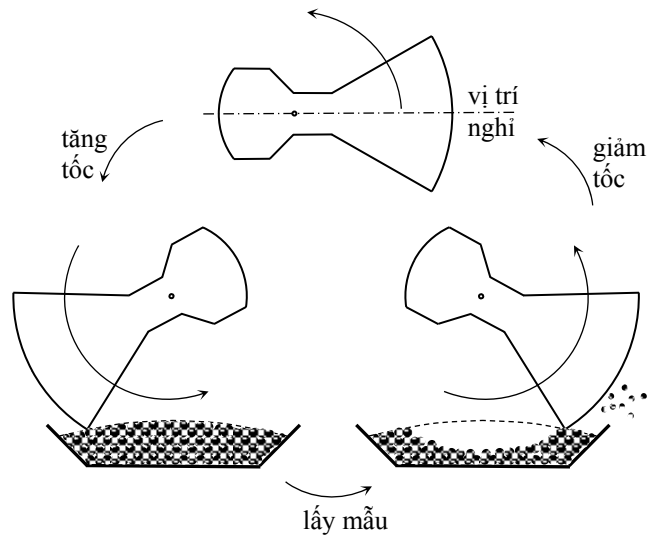
Về mặt động lực học, trong hệ thống lấy mẫu, búa lấy mẫu và cặp con lăn nghiền than có đặc tính phức tạp nhất. Đây cũng là hai cụm thiết bị cần được nghiên cứu kỹ để có thể nội địa hóa hệ thống. Bài báo tập trung vào việc tính toán quá trình động lực học và điều khiển của búa lấy mẫu cũng như quá trình động lực của cặp con lăn nghiền than. Từ đó, các yếu tố thiết kế như công suất động cơ và chế độ làm việc của búa lấy mẫu cũng như điều kiện làm việc của cặp con lăn nghiền than sẽ được làm rõ.

2. Động lực học và điều khiển của búa lấy mẫu

2.1. Chu trình làm việc của búa lấy mẫu

Một chu trình làm việc của búa lấy mẫu được chia thành bốn giai đoạn chính (hình 2):

- Tăng tốc
- Lấy mẫu
- Giảm tốc
- Nghỉ



Hình 2. Sơ đồ chu trình làm việc của búa lấy mẫu

2.2. Mômen và công suất của búa

2.2.1. Giai đoạn tăng tốc

Trong giai đoạn này, búa chưa va chạm với dòng vật liệu và do trọng tâm của búa (bao gồm đối trọng) nằm trên trục quay và giả thiết búa quay nhanh dần đều từ vận tốc góc bằng không thì mômen cần truyền cho búa bằng

$$M_1 = J\varepsilon_1 = J \frac{\omega_{\max}^2}{2\alpha_1} \quad (1)$$

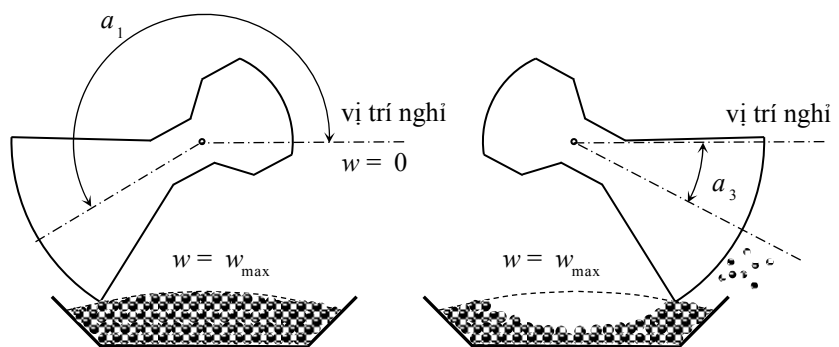
Công suất động cơ lớn nhất trong giai đoạn này là

$$P_{1\max} = M_1\omega_{\max} = J \frac{\omega_{\max}^3}{2\alpha_1} \quad (2)$$

trong đó J là mômen quán tính khối của búa; ε_1 là gia tốc góc của búa; ω_{\max} là vận tốc góc làm việc; α_1 là góc gia tốc, tức là góc quét của búa từ vị trí nghỉ đến khi đạt vận tốc làm việc (hình 3).

2.2.2. Giai đoạn lấy mẫu

Trong giai đoạn này, vận tốc góc của búa được giữ bằng hằng số, tuy nhiên, do có sự



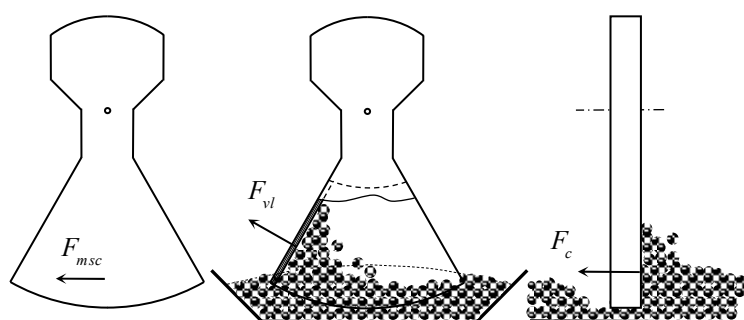
Hình 3. Góc tăng tốc α_1 và góc giảm tốc α_3 của búa lấy mẫu

tương tác giữa búa và dòng vật liệu, mômen cần truyền cho búa sẽ thay đổi theo thời gian. Có hai hiện tượng tương tác chính trong giai đoạn này: tương tác giữa búa và khối vật liệu được lấy ra và tương tác giữa khối vật liệu bị dồn lại với mặt bên của búa (hình 4). Ở đây, do chưa tiến hành được thực nghiệm, ta chỉ có thể xác định giới hạn trên cho mômen và công suất.

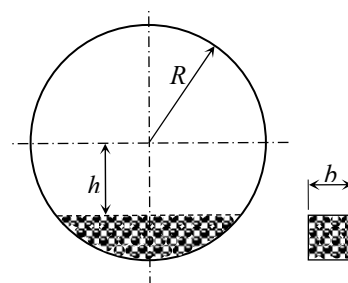
Khối lượng vật liệu được lấy ra trong một lần gạt búa được tính bằng khối lượng một hình trụ viên phân như sau (hình 5)

$$m_{vl} = k\rho b \left(R^2 \arccos(h/R) - h\sqrt{R^2 - h^2} \right) \quad (3)$$

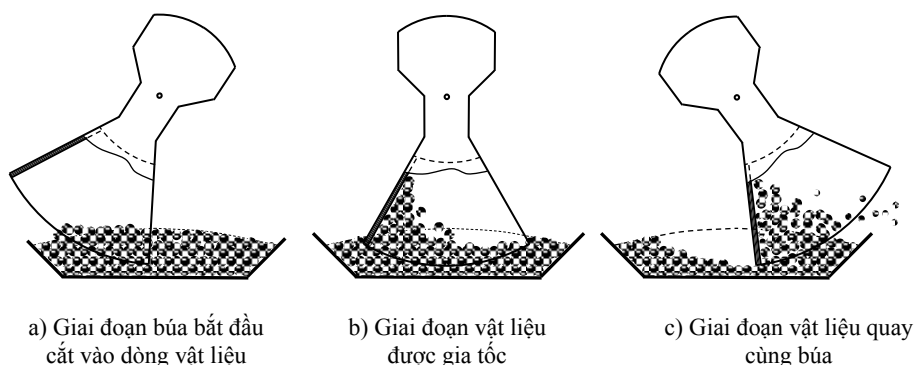
trong đó k là hệ số điền đầy; ρ là khối lượng riêng của vật liệu; b là chiều rộng khe hở giữa hai thành bên của búa; h là khoảng cách từ mặt trên dòng vật liệu đến tâm trục búa; R là bán kính búa; hàm arccos tính theo radian.



Hình 4. Lực tác dụng lên búa trong thời điểm lấy mẫu



Hình 5. Phần vật liệu được lấy trong một lần quay búa



Hình 6. Các giai đoạn nhỏ trong giai đoạn lấy mẫu

Giai đoạn lấy mẫu có thể được chia ra làm ba giai đoạn nhỏ như sau (hình 6):

i) Giai đoạn búa bắt đầu cắt vào dòng vật liệu: Do có ma sát, phần vật liệu tiếp xúc với thành bên của búa được gia tốc nhưng gia tốc này không đáng kể so với gia tốc trong giai đoạn sau. Đồng thời, dòng vật liệu bị cản bắt đầu dồn lại, khối lượng, áp lực và ma sát của chúng lên thành bên của búa tăng dần theo thời gian và đạt cực đại trong giai đoạn sau.

ii) Giai đoạn vật liệu được gia tốc: thành gạt chạm vào dòng vật liệu và truyền gia tốc cho vật liệu. Gia tốc trung bình của khối vật liệu được tính như sau

$$a_{vl} = \omega_{\max} r_{vl} / t_{vl} \quad (4)$$

trong đó t_{vl} là thời gian gia tốc vật liệu, cần được xác định qua thực nghiệm, trong tính toán thiết kế hoặc kiểm nghiệm có thể cho xấp xỉ bằng một nửa thời gian thành gọt của búa đi qua dòng vật liệu; r_{vl} là khoảng cách từ trục búa đến khối tâm khối vật liệu trong lòng búa khi gia tốc xong, cần được xác định qua thực nghiệm, trong tính toán thiết kế hoặc kiểm nghiệm có thể được lấy bằng khoảng cách từ trọng tâm hình viên phân đến tâm trục búa r_{vp} như sau

$$r_{vp} = \frac{2}{3} \frac{R^3 \sin(\arccos(h/R)) - h^2 \sqrt{R^2 - h^2}}{R^2 \arccos(h/R) - h \sqrt{R^2 - h^2}} \quad (5)$$

Mômen cần truyền cho búa để gia tốc vật liệu được tính như sau

$$M_{vl} = m_{vl} a_{vl} r_{vl} \quad (6)$$

Như đã nói ở trên, dòng vật liệu bị chặn cũng có tác dụng lên búa, cản trở chuyển động của búa. Khối lượng vật liệu bị dồn lại do thành bên của búa chặn dòng vật liệu là

$$m_c = v t_c \rho \left(R^2 \arccos(h/R) - h \sqrt{R^2 - h^2} \right) \quad (7)$$

trong đó v là vận tốc băng tải; t_c là thời gian chặn hiệu dụng, trong tính toán thiết kế có thể sử dụng công thức $t_c = 2 \arccos(h/R) / \omega_{\max}$.

Gia tốc của khối vật liệu này được tính bởi

$$a_c = v / t'_c \quad (8)$$

trong đó, để an toàn, t'_c được lấy bằng một nửa t_c . Áp lực khối vật liệu bị cản tác dụng lên búa và lực ma sát tương ứng lần lượt là

$$F_c = m_c a_c; \quad F_{msc} = \mu F_c \quad (9)$$

trong đó μ là ma sát trượt động giữa vật liệu và thành bên của búa. Mômen do ma sát tác dụng lên búa được tính như sau

$$M_c = F_{msc} r_c \quad (10)$$

trong đó r_c là khoảng cách giữa lực ma sát và tâm trục búa, trong tính toán thiết kế hoặc kiểm nghiệm có thể được lấy bằng khoảng cách từ trọng tâm hình viên phân đến tâm trục búa r_{vp} như công thức (5).

iii) Giai đoạn vật liệu quay cùng búa: lúc này vật liệu không cần được gia tốc thêm và do đó mômen cần truyền cho búa sẽ nhỏ hơn giai đoạn trước.

Tóm lại, mômen thiết kế và công suất thiết kế cho giai đoạn lấy mẫu lần lượt được tính như sau

$$M_2 = M_{vl} + M_c; \quad P_{2\max} = M_2 \omega_{\max} \quad (11)$$

2.2.3. Giai đoạn giảm tốc

Búa được giảm tốc từ vận tốc góc làm việc về vị trí nghỉ. Vật liệu trong lòng búa do có quán tính nên được nhả ra khỏi búa và rơi xuống dưới tác dụng của lực trọng trường. Tương tác giữa vật liệu và búa trong trường hợp này là nhỏ và có thể bỏ qua được. Hoàn toàn tương tự giai đoạn tăng tốc, với giả thiết búa quay chậm dần đều thì mômen cần truyền cho búa trong giai đoạn này là hằng số và được tính bởi công thức

$$M_3 = -J\varepsilon_3 = -J \frac{\omega_{\max}^2}{2\alpha_3} \quad (12)$$

Dấu trừ thể hiện rằng mômen này ngược với chiều quay của búa; ε_3 là gia tốc góc của búa, α_3 là góc giảm tốc, tức là góc quét của búa từ khi bắt đầu giảm tốc đến vị trí nghỉ (hình 3). Trong giai đoạn này, động cơ không phát công suất và phải thu công suất do mômen cần truyền ngược chiều chuyển động.

2.2. Kiểm nghiệm phương pháp tính

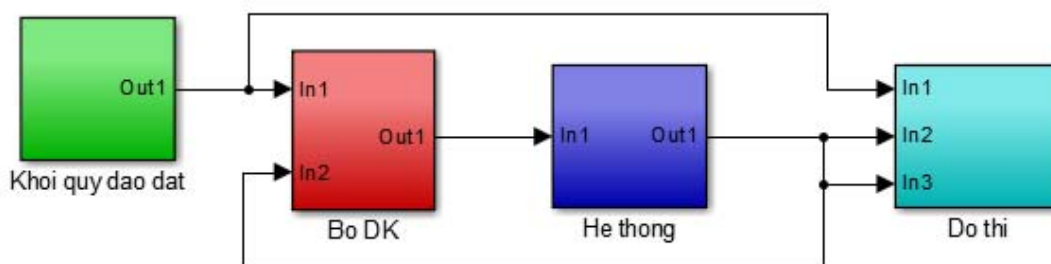
Các công thức tính trên đây được thử nghiệm với bộ số liệu trong [4] và mômen cũng như công suất tính toán được so sánh với số liệu được cho trong cùng tài liệu.

Các thông số đầu vào như sau: $\omega_{\max} = 8,964(rad / s)$; $\alpha_1 = 1,169(rad)$; $J = 48,53(kg.m^2)$; $\alpha_3 = 0,698(rad)$

Công suất động cơ lớn nhất tính toán hoàn toàn phù hợp với [4]

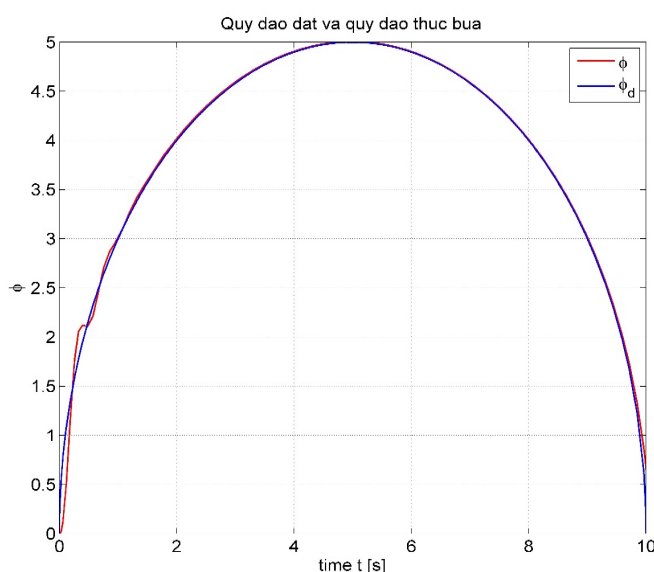
$$P_{\max} = 15kW \text{ (phát)} \text{ và } P_{\max} = 25kW \text{ (thu)}.$$

2.3. Thiết kế bộ điều khiển PID cho búa lấy mẫu



Hình 7. Mô hình điều khiển búa lấy mẫu

Sơ đồ mạch điều khiển hệ búa lấy mẫu một bậc tự do được mô tả như hình 7. Búa có thể quay quanh trục nhờ vào moment $M(t)$ tác dụng lên trục. Giả sử ở thời điểm ban đầu hệ búa chưa chứa vật liệu. Sau khoảng thời gian t_1 nào đó búa quay tới vị trí gạt mẫu, búa lấy mẫu trong khoảng thời gian t_2 lúc này cần tạo ra mômen thắng được mômen cản vật liệu. Sau khi lấy mẫu, búa giảm tốc về vị trí nghỉ. Kết quả điều khiển được cho trên hình 8.



Hình 8. Đồ thị quỹ đạo bám của búa theo quỹ đạo đặt trước

3. Động lực học của cặp con lăn nghiền than

3.1 Điều kiện tĩnh để trục nghiền kéo được vật liệu

Để xác định các điều kiện mà nhờ đó trục nghiền (hòn nghiền, crusher) có thể kéo được hạt vật liệu, ta xét bài toán tĩnh như trên hình 9a. Giả thiết rằng hạt vật liệu có hình trụ tròn, tựa đều trên hai con lăn (roller); hai con lăn cũng có dạng hình trụ tròn có thể quay quanh trục đối xứng của chúng và đang có xu hướng kéo vật xuống; toàn bộ mô hình nhận một mặt phẳng thẳng đứng làm mặt phẳng đối xứng về cả hình học và lực [2].

Xét trên một thiết diện vuông góc với các trục con lăn, các đường nối tâm các đường tròn tạo thành một hình tam giác cân có góc ở đáy là $\alpha/2$; α chính là góc hàm/ góc nghiền (nip angle).

Tại mỗi đường tiếp xúc giữa hạt vật liệu và con lăn, phản lực liên kết bao gồm phản lực pháp tuyến N và lực ma sát trượt tĩnh F'_{ms} tương ứng (hình 9b).

Ngoài ra, hạt vật liệu còn chịu tác dụng của lực trọng trường mg , lực này ban đầu có tác dụng giữ hạt vật liệu tựa lên các con lăn. Tuy nhiên, do phản ứng pháp tuyến và lực ma sát tương ứng tăng lên nhanh và cao hơn nhiều nên có thể bỏ qua trọng lượng trong các tính toán có liên quan đến ma sát.

Xét cân bằng của hạt vật liệu, do hệ đối xứng nên các phương trình cân bằng theo phương ngang và phương trình mômen tự thỏa mãn, chỉ có phương trình cân bằng theo phương thẳng đứng là cần xét đến.

$$N \sin(\alpha/2) - F'_{ms} \cos(\alpha/2) = 0 \quad (13)$$

Điều kiện để các con lăn kéo được hạt vật liệu là phương trình (13) và bất đẳng thức của ma sát tĩnh phải được thỏa mãn

$$F'_{ms} \leq \mu_0 N \quad (14)$$

trong đó μ_0 là hệ số ma sát trượt tĩnh giữa hạt vật liệu và con lăn. Điều này có nghĩa là

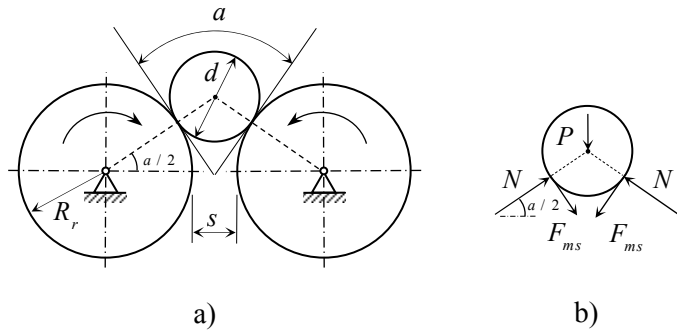
$$\mu_0 \geq \tan(\alpha/2) \quad (15)$$

3.2 Vận tốc đồng bộ và vận tốc không đồng bộ

Điều kiện tĩnh (15) chỉ áp dụng được khi có sự đồng bộ về vận tốc: vận tốc của hạt vật liệu và các con lăn tại điểm tiếp xúc tại thời điểm bắt đầu tiếp xúc là bằng nhau [4].

$$v_{vl} = v_r \quad (16)$$

trong đó $v_r = \omega R_r$ là vận tốc dài của một điểm trên bề mặt con lăn, ω là vận tốc góc của con lăn, R_r là bán kính của một con lăn; và $v_{vl} = \sqrt{2gh}$ là vận tốc của hạt vật liệu tại thời điểm bắt đầu tiếp xúc [3], g là gia tốc trọng trường, h là quãng đường vật liệu rơi theo phương thẳng đứng như hình 10.



Hình 9. Thông số hình học của trục nghiền và hệ lực tác dụng vào hạt vật liệu

Trong thực tế, dòng vật liệu đổ xuống sẽ có sự tương tác với nhau và với môi trường, làm cho vận tốc mỗi hạt vật liệu là khác nhau. Có hai trường hợp: vận tốc của hạt vật liệu nhỏ hơn vận tốc dài của con lăn và vận tốc của hạt vật liệu lớn hơn vận tốc dài của con lăn.

Trường hợp vận tốc của hạt vật liệu lớn hơn vận tốc dài của con lăn, khi tiếp xúc thì hạt vật liệu có xu hướng trượt xuống dưới nên lực ma sát trượt động sẽ hướng lên trên và làm cho hạt vật liệu nảy lên. Khi đó, dòng vật liệu có thể bị dồn ứ lại và là hiện tượng không mong muốn (hình 11a).

Trường hợp vận tốc của hạt vật liệu nhỏ hơn vận tốc dài của con lăn, nghĩa là:

$$\sqrt{2gh} < \omega R, \tag{17}$$

Khi tiếp xúc thì hạt vật liệu có xu hướng tụt lại so với con lăn nên lực ma sát trượt động sẽ hướng xuống dưới (hình 11b).

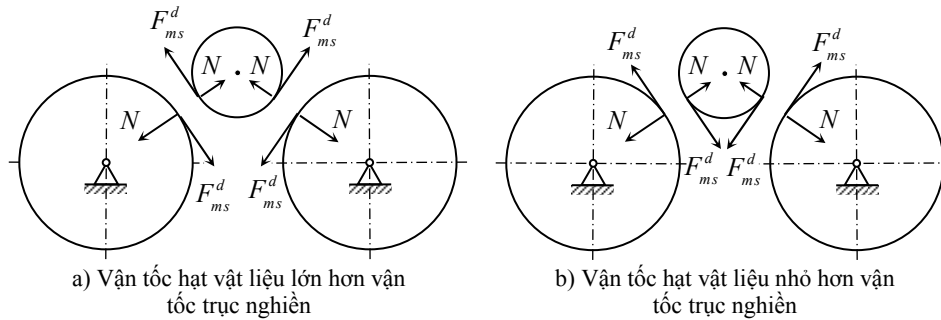
Xét phương trình chuyển động theo phương thẳng đứng của hạt vật liệu trong trường hợp này

$$ma = F_{ms}^d \cos(\alpha / 2) - N \sin(\alpha / 2) \tag{18}$$

trong đó lực ma sát trượt động F_{ms}^d liên hệ với phản lực pháp tuyến N bởi hệ thức

$$F_{ms}^d = \mu N \tag{19}$$

với μ là hệ số ma sát trượt động. Hệ số này thường nhỏ hơn hệ số ma sát trượt tĩnh và chưa có nhiều tài liệu cung cấp các kết quả thực nghiệm [3].



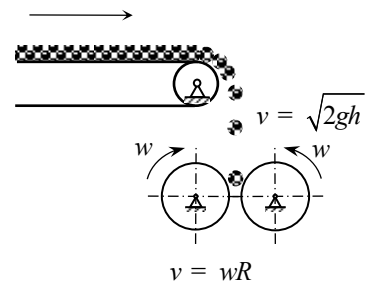
Hình 11. Các trường hợp vận tốc không đồng bộ

Để các con lăn gia tốc được cho hạt vật liệu thì (18) trở thành

$$F_{ms}^d \cos(\alpha / 2) - N \sin(\alpha / 2) > 0 \tag{20}$$

Có thể thấy rằng hệ (20) và (19) tương tự như hệ (13) và (14), chỉ khác tính chất đẳng thức-bất đẳng thức. Do đó, điều kiện làm việc của trục nghiền cũng tương tự như (15), chỉ thay hệ số ma sát trượt tĩnh bằng hệ số ma sát trượt động

$$\mu > \tan(\alpha / 2). \tag{21}$$



Hình 10. So sánh vận tốc của hạt vật liệu và trục nghiền

3.3. Điều kiện về cỡ hạt

Điều kiện (21) có thể diễn giải thành điều kiện về kích thước của hạt vật liệu [3]: đường kính của hạt vật liệu nên nhỏ hơn hoặc bằng đường kính tối đa d_{\max} của hạt vật liệu tương đương hình trụ mà con lăn có thể kéo được. Đường kính này liên hệ với góc α theo hệ thức

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{2R_r + s}{2R_r + d_{\max}} \quad (22)$$

trong đó s là khe hở giữa hai con lăn. Giải hệ (21) và (22) ta thu được

$$d_{\max} < \left((2R_r + s)\sqrt{1 + \mu^2} \right) - 2R_r \quad (23)$$

4. Kết luận

Quá trình động lực trong từng giai đoạn cũng được thiết lập với những giả thiết bám sát với điều kiện làm việc thật của cơ cấu búa lấy mẫu. Kết quả tính toán động lực và điều khiển của phần này có thể dùng trong công tác thiết kế tính toán sơ bộ các yếu tố như tốc độ băng tải chính, vận tốc góc cực đại của đầu búa, lượng mẫu vật liệu thu được sau mỗi chu trình làm việc, và công suất sơ bộ cho phần động cơ dẫn động của búa.

Phần tính toán động lực của con lăn đã thiết lập được mô hình tĩnh động lực cho việc tính toán các lực ép và kéo lên hạt liệu trong quá trình nghiền, đồng thời đưa ra yêu cầu cho hệ số ma sát giữa con lăn và hạt vật liệu. Một kết quả quan trọng khác là việc vận tốc quay của con lăn phải đủ lớn để vượt qua vận tốc rơi của hạt vật liệu, tránh hiện tượng dồn ú. Ngoài ra một số chỉ dẫn dạng công thức cho việc tính toán kích thước hạt liệu mà máy nghiền có thể nghiền được cũng đã được đưa ra.

Lời cảm ơn

Bài báo này nằm trong các chuyên đề “Tính toán, thiết kế động lực học Sampling unit” và “Xây dựng mô phỏng phần mềm động lực học Sampling unit” thuộc đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp nhà nước có tên “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, tổ hợp và đưa vào vận hành hệ thống bóc dỡ, vận chuyển than cho nhà máy nhiệt điện đốt than có công suất tổ máy đến khoảng 600MW” và mã số “01/HĐ-ĐT/KHCN” do Viện Nghiên cứu Cơ khí (Narime) chủ trì. Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Viện Nghiên cứu Cơ khí. Chuyên đề này sẽ không thể thực hiện thành công nếu thiếu sự hỗ trợ rất nhiệt tình của các cán bộ nghiên cứu cũng như cán bộ quản lý của Viện.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bản vẽ “TTP Song Hau 1 - Coal Handling System - LAYOUT DRAWING OF SAMPLING UNIT P0EAU71-72. Document No: SH1-FAM-P0EAU71-M-M02-DAL-6031” (tên file: SH1-FAM-P0EAU71-M-M02-DAL-6031_RevA.pdf) (tài liệu kèm theo máy).
- [2] Höffl, K., *Zerkleinerungs- Und Klassiermaschinen. Schlütersche Verlagsanstalt und Druckerei*, Hannover, (1984).
- [3] Lieberwirth, H., et al., Dynamics in double roll crushers, *Minerals Engineering*, **103-104**, (2017), pp. 60-66.
- [4] SGS MIN WA231 Mechanical Sampling Systems EN 11, <http://www.sgs.com/-/media/global/documents/presentations/sgs-min-wa231-mechanical-sampling-systems-en-11.pdf>.