

NGHIÊN CỨU CƠ SỞ LÝ THUYẾT QUÁ TRÌNH PHÂN LOẠI SẢN PHẨM NGHIỀN THEO KÍCH THƯỚC HẠT TRONG THIẾT BỊ PHÂN LY KIỂU LY TÂM

STUDYING THEORETICAL FUNDAMENTAL OF SEPARATING PROCESS OF GRINDING PRODUCTS BY THE SIZE IN CENTRIFUGAL SEPARATING EQUIPMENT

KeoLim, Nguyễn Như Nam

Khoa Cơ khí Công nghệ, trường Đại học Nông Lâm Tp. HCM

ABSTRACT

Centrifugal separating equipment has been used to sort the size of grinding products. This is a kind of equipment that works on pneumatic principle. Calculating theory of this equipment has been not set up completely yet. Studying results of hydro pneumatic dynamics which happened in centrifugal separating equipment, allowed to build up the relationship between geometric, kinematical and dynamic parameters of air flow mixture- grinding products and separating equipment.

MỞ ĐẦU

Phân ly sản phẩm là một trong 3 khâu của quá trình nghiền. Trong công nghệ chế biến thức ăn thủy sản, yêu cầu sản phẩm sau khi nghiền phải đạt độ nhỏ < 250 μm , thì phân ly bằng sàng lắp trong buồng nghiền làm việc không có hiệu quả. Do sản phẩm nghiền dù đạt độ nhỏ vẫn khó chui lọt qua lỗ sàng phân ly. Các sản phẩm nghiền không chui qua được lỗ sàng sẽ làm giảm năng suất, cản trở quá trình nghiền, làm tăng mức tiêu thụ năng lượng để nghiền. Để khắc phục hiện tượng này, một thiết bị thường để dùng phân loại sản phẩm nghiền là thiết bị phân ly kiểu ly tâm làm việc như một xyclon. Đây cũng là thiết bị chủ yếu dùng trong công nghệ micro để nghiền các sản phẩm đạt tới kích thước micro mét, hoặc nhỏ hơn nữa. Việc thiết kế thiết bị phân ly kiểu ly tâm xuất phát từ thực nghiệm và là bí mật của các hãng chế tạo. Bài báo tiến hành nghiên cứu cơ sở lý thuyết việc phân loại kích thước sản phẩm nghiền bằng thiết bị phân ly kiểu ly tâm.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

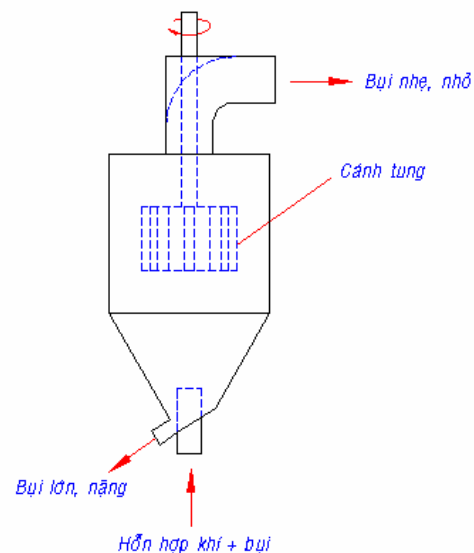
- Áp dụng các nguyên lý thủy khí động lực học để xây dựng và giải thích cơ chế làm việc của thiết bị phân ly kiểu ly tâm.
- Sử dụng các công cụ toán học như phương trình vi phân, giải tích toán học để lập và giải các bài toán thủy khí động lực học.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nguyên lý cấu tạo và cơ chế làm việc của thiết bị phân ly kiểu ly tâm

Nguyên lý cấu tạo

Thiết bị phân ly liên kết với máy nghiền làm nhiệm vụ phân loại sản phẩm nghiền theo kích thước ở ngoài buồng nghiền. Cấu tạo chung của thiết bị phân ly được trình bày như hình 1.



Hình 1. Nguyên lý cấu tạo thiết bị phân ly kiểu ly tâm

Thiết bị phân ly gồm một buồng làm việc có dạng hình trụ, đáy buồng dạng hình nón. Phía trên buồng làm việc lưu thông với buồng lắng sản phẩm bởi ống dẫn không khí và sản phẩm nghiền đã được phân loại bằng khí động đạt yêu cầu. Phía dưới buồng làm việc, phần hình nón lưu thông với ống dẫn không khí – sản phẩm nghiền từ máy nghiền chuyển tới. Các sản phẩm nghiền có kích thước lớn được thu gom tại phần hình nón và theo ống dẫn riêng khác để quay trở lại máy nghiền. Bên trong buồng làm việc có bố trí một rô to có cấu tạo như rô to quạt ly tâm với trục quay trùng trục thùng.

Điểm khác biệt là rô to này không làm nhiệm vụ hút dòng hỗn hợp không khí – sản phẩm nghiền, mà chỉ nhằm tạo ra động năng để định hướng dòng hỗn hợp không khí – sản phẩm nghiền chuyển động quay tròn xung quanh buồng làm việc. Vì vậy phía dưới rô to quạt là một nón hình côn cố định che chắn phần dưới của rô to. Dưới tác động thủy lực phía của ra, mà chuyển động của dòng hỗn hợp không khí – sản phẩm nghiền quay tròn theo dạng xoáy ốc.

Cơ chế làm việc

Nguyên lý hoạt động của thiết bị: khối không khí - sản phẩm nghiền từ máy nghiền được chuyển vào buồng làm việc của thiết bị phân ly theo hướng từ dưới lên. Dòng lưu chất này có một động năng đủ lớn khi vào thiết bị phân ly để chuyển động vào không gian buồng làm việc. Khi thoát khỏi ống dẫn, dòng lưu chất chuyển động như một luồng tia ngập, vào môi trường có thể tích không gian giới hạn là thể tích buồng làm việc. Ở trạng thái chuyển động này, luồng không khí – phần tử nghiền là luồng ngập, không tự do. Với tiết diện của luồng nhỏ hơn rất nhiều tiết diện của thể tích buồng làm việc ở mỗi mặt cắt ngang qua buồng làm việc ta có thể coi đây là chuyển động của luồng tự do. Quá trình chuyển động trong buồng làm việc (phần phía dưới), luồng tia mở rộng ra theo chiều ngang. Do tác dụng của lực ma sát trên biên giới luồng với môi trường không khí bất động (hoặc gần như bất động) của buồng làm việc, và do sự xáo trộn rối bên trong luồng. Tác dụng hãm này làm cho lưu tốc của luồng giảm xuống. Vì vậy với lưu lượng ra của luồng không đổi thì mặt cắt ngang của luồng không ngừng tăng lên theo phương chuyển động. Đồng thời do lực ma sát và xáo trộn ngang mà trong vùng tiếp xúc của luồng với môi trường tĩnh sẽ xuất hiện chuyển động xoáy, dẫn đến sự trao đổi động lượng mãnh liệt theo phương ngang và luồng sẽ cuốn vào mình các khối lượng khí trong buồng làm việc. Dòng khí – phần tử nghiền khi đến mặt nón ngăn cách, sẽ có hướng chuyển động xoáy ốc lại được tiếp thêm động năng bởi rô to lắp trong buồng làm việc để đạt được tốc độ quay tròn nhất định. Quá trình chuyển động quay tròn trong buồng làm việc phân hình trụ sẽ tạo ra lực ly tâm đủ lớn để ép các phần tử nghiền đủ lớn chuyển động sát mặt trong của buồng. Các phần tử này mất động năng và dưới tác dụng của trọng lực sẽ lắng xuống phía dưới, để theo ống dẫn trở về máy nghiền tiếp tục nghiền nhỏ. Chỉ những phần tử nghiền đủ nhỏ mới theo dòng khí chuyển động lên phía trên buồng làm việc để đến buồng thu hồi sản phẩm nghiền.

Như vậy kích thước luồng tia sẽ qui định kích thước đường kính buồng làm việc. Kích thước luồng tia này hoàn toàn phụ thuộc vào lưu lượng của luồng. Hay thể tích buồng làm việc đặc trưng cho năng

suất của thiết bị phân ly. Chế độ động học của dòng không khí – phần tử nghiền sẽ quyết định kích thước sản phẩm nghiền thu hồi. Chế độ động học này có thể điều chỉnh bằng tốc độ rô to và lưu lượng không khí bổ sung từ bên ngoài vào buồng làm việc.

Nghiên cứu chuyển động của dòng không khí – phần tử nghiền trong buồng làm việc hình nón

Cấu tạo của dòng không khí – phần tử nghiền

Như đã phân tích ở trên, chuyển động của dòng không khí trong buồng làm việc hình nón có dạng luồng ngập, tự do. Sự chuyển động của luồng ở chế độ chảy rối. Vì vậy ngoài chuyển động theo hướng trục luồng còn có các phần tử chuyển động ngang. Do tốc độ ngang này mà một số phần tử bị mang ra ngoài phạm vi luồng. Những phần tử va chạm với các phần tử lớp biên không chuyển động của không khí xung quanh sẽ truyền cho chúng một vận tốc nào đó và lôi cuốn chúng nhập vào luồng. Do hiện tượng này, trong quá trình chuyển động không khí của luồng sẽ được không khí xung quanh ở buồng làm việc trộn lẫn thêm vào làm cho khối lượng và đường kính của nó tăng thêm theo chiều chuyển động, còn tốc độ thì giảm dần. Theo định luật bảo toàn động lượng khối lượng tăng thêm bao nhiêu lần thì tốc độ trung bình giảm đi bấy nhiêu lần:

$$\Sigma m.v = \text{const} \quad (1)$$

Luồng không khí – phần tử nghiền sau khi ra khỏi ống phun (ống tròn) sẽ mở rộng dần đến một vị trí nào đó thì biến mất do ma sát của luồng với lớp biên và của các thành phần trong luồng với nhau (hình 2). Luồng có mặt cắt hình tròn.

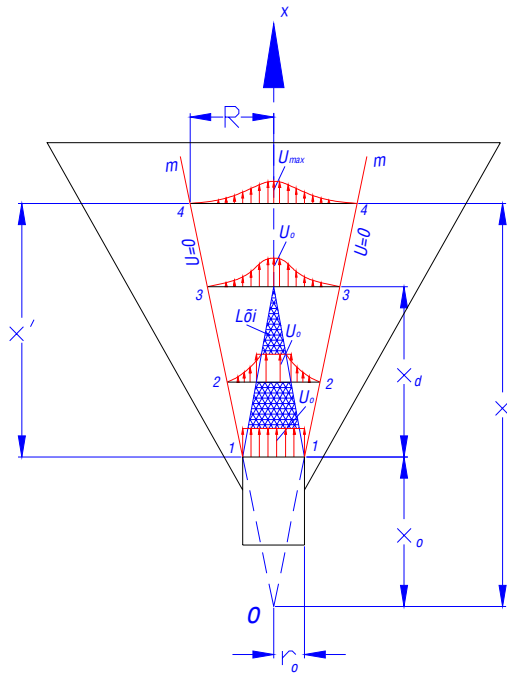
Theo lý thuyết thủy khí động lực học thì áp suất của luồng tại mọi điểm là như nhau và bằng với áp suất trong buồng làm việc.

Toàn bộ thể tích của luồng được chia làm 2 phần:

- Phần thể tích mà trong đó vận tốc của dòng lưu chất bằng nhau và bằng với vận tốc của luồng khi mới ra khỏi vòi phun được gọi là lõi của luồng. Vận tốc của phần này ký hiệu là u_0 .
- Vùng thể tích bao quanh lõi có lưu tốc thay đổi giảm dần theo chiều ngang từ u_0 đến bằng không được gọi là lớp biên rối của luồng.

Chuyển động của dòng không khí – phần tử nghiền sẽ chia làm 2 đoạn như sau:

- Quá trình chuyển động, đường kính lõi giảm dần, còn đường kính lớp biên tăng lên, cho đến mặt cắt 3 – 3 thì kết thúc vùng có lưu tốc bằng nhau $u = u_0$. Đoạn luồng này gọi là lõi của luồng. Đoạn này có chiều dài bằng chiều dài của lõi (xđ) gọi là đoạn đầu. Tương ứng trên hình vẽ (hình 2) là đoạn từ mặt cắt 1 – 1 đến mặt cắt 3 – 3.



Hình 2. Mô hình luồng tia trong phần hình nón của buồng làm việc

- Sau đoạn đầu được gọi là đoạn cơ bản (hay đoạn chính) của luồng. Trong đoạn này, lớp biên chiếm toàn bộ mặt cắt ngang của luồng. Lưu tốc của luồng giảm theo phương ngang tính từ tâm luồng đi ra và đồng thời giảm theo chiều của vận tốc. Trong đoạn này lớp biên chiếm toàn bộ mặt cắt ngang của luồng, lưu tốc trên trục luồng giảm dần từ u_0 đến $u = 0$ tại mặt cắt vô cực. Thực tế, với chiều dài buồng làm việc hữu hạn ta sẽ xác định điểm cuối cùng của dòng không khí – phần tử nghiên có lưu tốc đảm bảo không đủ lớn để mang các phần tử nghiên chuyển động lên phía trên buồng làm việc.

Điểm O gọi là “tiêu điểm” của luồng. Nó chính là giao của các đường biên.

Theo lý thuyết thủy khí động lực học, bề rộng của luồng biến đổi tuyến tính theo tọa độ x:

$$R = a \cdot x \quad (2)$$

Lưu tốc ở trục luồng trong vùng cơ bản u_{max} chỉ phụ thuộc vào x. Luật phân bố lưu tốc trên tất cả các mặt cắt ngang của đoạn cơ bản có dạng:

$$\frac{u}{u_{max}} = f\left(\frac{r}{x}\right) \quad (3)$$

Trong đó r là khoảng cách theo phương ngang từ điểm xét đến trục luồng. Tọa độ x được tính từ cực O.

Góc mở của luồng α phụ thuộc vào mức độ rối của luồng; thường $\alpha = 12 - 14^\circ$.

Nghiên cứu sự biến đổi lưu tốc u_{max}

Vì áp suất tĩnh như nhau tại mọi điểm trong luồng cho nên động lượng của dòng lưu chất tính theo 1 đơn vị thời gian là như nhau tại mọi mặt cắt. Vì thế

$$DL = \int_S \rho \cdot u^2 \cdot dS = \rho \cdot u_0^2 \cdot S_0 \quad (4)$$

Trong đó: S_0 – tiết diện mặt cắt đầu 1-1;

S – tiết diện tại mặt cắt bất kỳ.

Đối với luồng tròn có: $S_0 = \pi r_0^2$; $S = \pi r^2$; $dS = 2\pi r \cdot dr$. Thay các giá trị này vào (4) ta có:

$$DL = 2 \cdot \pi \int_0^R \rho \cdot u^2 \cdot r \cdot dr = \pi \cdot \rho \cdot u_0^2 \cdot r_0^2 \quad (5)$$

Trong đó: r_0 và R – bán kính của luồng tại mặt cắt đầu và mặt cắt đang xét.

Viết phương trình (5) dưới dạng không thứ nguyên bằng cách chia 2 vế cho vế phải, ta được:

$$2 \int_0^{R/r_0} \left(\frac{u}{u_0}\right)^2 \left(\frac{r}{r_0}\right) d\left(\frac{r}{r_0}\right) = 1 \quad (6)$$

Đặt: $\frac{u}{u_0} = \frac{u}{u_{max}} \cdot \frac{u_{max}}{u_0}$; $\frac{r}{r_0} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R}{r_0}$ thì (6)

trở thành:

$$2 \int_0^1 \left(\frac{u}{u_{max}} \cdot \frac{u_{max}}{u_0}\right)^2 \left(\frac{r}{R} \cdot \frac{R}{r_0}\right) d\left(\frac{r}{R} \cdot \frac{R}{r_0}\right) = 1 \quad (7)$$

Vì u_{max} và R chỉ phụ thuộc vào x, $r_0 = \text{const}$, nên (7) có dạng:

$$2\left(\frac{u_{\max}}{u_0}\right)^2\left(\frac{R}{r_0}\right)^2\int_0^1\left(\frac{u}{u_{\max}}\right)^2\left(\frac{r}{R}\right)d\left(\frac{r}{R}\right)=1 \quad (8)$$

Thay $\frac{u}{u_{\max}} = f\left(\frac{r}{R}\right)$ vào sẽ tính được

$$\int_0^1 f^2\left(\frac{r}{R}\right) * \frac{r}{R} * d\left(\frac{r}{R}\right) = 0,0464 \quad (9)$$

Từ (8) và (9) suy ra:

$$u_{\max} = \frac{const}{R}$$

Do $R = ax$; nên $u_{\max} \approx \frac{const}{x}$

Theo kết quả vừa chứng minh, ta nhận thấy lưu tốc trên trục luồng tròn đoạn cơ bản tỷ lệ nghịch với khoảng cách x từ mặt cắt này đến cực.

Phân bố lưu tốc trên mặt cắt ngang của đoạn cơ bản

Theo Schlichting lưu tốc trên mặt cắt ngang của luồng trong đoạn cơ bản phân bố theo qui luật sau:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(1 - \eta^{1.5}\right)^2 \quad (10)$$

Trong đó: $\eta = r/R$.

Các đặc trưng hình học và động học khác

Từ phương trình (8) và (9) ta có:

(11)

$$\text{Hay: } \frac{R}{r_0} = 3,3 \frac{u_0}{u_{\max}} \quad (12)$$

Tại mặt cắt kết thúc lõi 3-3, $u_{\max} = u_0$, suy ra $R/r_0 = 3,3$.

Lưu lượng của luồng:

$$Q = \int_S u dS = 2\pi \int_0^R u r dr = 2\pi r_0^2 u_0 \frac{u_{\max}}{u_0} \left(\frac{R}{r_0}\right)^2 \int_0^1 \frac{u}{u_{\max}} \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right)$$

$$\int_0^1 \frac{u}{u_{\max}} \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) = 0,0985 \quad (13)$$

$$Q = 2.13\pi r_0^2 u_0 \frac{u_0}{u_{\max}}$$

Mặt khác: $\pi.r_0^2.u_0 = S_0.u_0 = Q_0$ là lưu lượng của dòng không khí – phần tử nghiền chuyển đến buồng làm việc, nên:

$$\frac{Q}{Q_0} = const.u_0 .x \quad (14)$$

Theo phương trình (2),:

$$R = a.x = \varepsilon.a_1 . x.$$

Trong đó: ε - hệ số phụ thuộc vào mặt cắt cuối của ống vận chuyển dòng không khí – phần tử nghiền tới buồng làm việc, $\varepsilon = 3,4$;

a_1 - hệ số cấu tạo rỗng của luồng, phụ thuộc vào phân bố lưu tốc tại mặt cắt đầu, $a_1 = 0,066$.

Do đó:

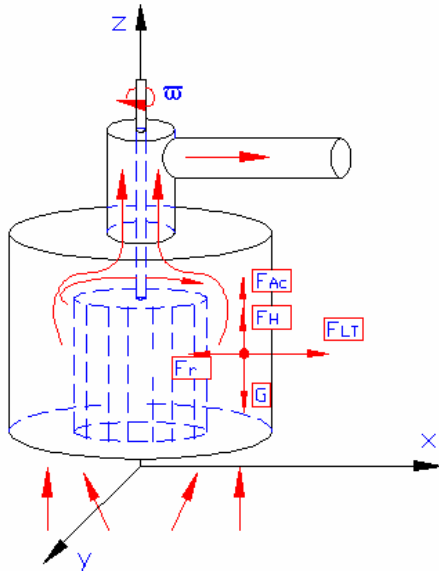
$$\frac{R}{r_0} = 3.4 \frac{a_1 .x}{r_0} \quad (15)$$

$$\frac{u_{\max}}{u_0} = 0,96 \frac{r_0}{ax} \quad (16)$$

$$\text{Suy ra } \frac{Q}{Q_0} = 2,2 \left(\frac{a_1 .x}{r_0} + 0,29 \right) \quad (17)$$

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH PHÂN LY SẢN PHẨM NGHIÊN TRONG PHÂN HÌNH TRỤ CỦA BUỒNG PHÂN LY

Sự chuyển động của dòng không khí – phần tử nghiền và lực tác dụng lên các phần tử nghiền trình bày như hình 3.



Hình 3. Chuyển động của hạt trong phần trụ cyclone

Xét chuyển động của một hạt rắn (phần tử nghiên) nằm cách trục buồng là r . Hạt có vận tốc chuyển động theo phương tiếp tuyến là v . Lực ly tâm tác dụng lên hạt:

$$F_{lt} = \frac{m.v^2}{r} \quad (18)$$

Trong đó: m – khối lượng của hạt.

Gọi ω là vận tốc quay của hạt, ta có

$$\omega = v/r \quad (19)$$

Giả thuyết rằng vật rắn có dạng hình cầu đường kính d , khối lượng riêng ρ_m thì $m = \rho_m \cdot d^3/6$ và lực ly tâm sẽ là:

$$F_{lt} = \frac{\pi.d^3 \cdot \rho_m \cdot \omega^2 \cdot r}{6} \quad (20)$$

Dưới tác dụng của lực ly tâm, hạt sẽ chuyển động theo phương r với vận tốc góc là v_r xác định theo phương trình:

$$V_r = dr/d\tau \quad (21)$$

Ứng với vận tốc v_r , môi trường không khí sẽ tác dụng lên hạt bụi một lực cản R tính theo công thức của Stocks:

$$F_c = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot v_r = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot dr/d\tau \quad (22)$$

Cân bằng lực ly tâm theo phương trình (20) và lực cản môi trường theo phương trình (22), sau khi biến đổi ta có:

$$d\tau = \frac{18 \cdot v}{\omega^2 \cdot d^2} \cdot \frac{\rho_k}{\rho_m} \cdot \frac{dr}{r} \quad (23)$$

Tích phân phương trình (23) với giới hạn từ R_1 đến R_2 ta có:

$$\tau = \frac{18 \cdot v}{\omega^2 \cdot d^2} \cdot \frac{\rho_k}{\rho_m} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}, \text{ s}; \quad (24)$$

Trong đó:

τ - thời gian để hạt nằm ở vị trí ban đầu bất lợi nhất (nằm cạnh rô to – cách tâm một khoảng là R_1) bị đẩy ra ngoài cho đến lúc chạm với vỏ hình trụ buồng làm việc (cách tâm một khoảng là R_2), s;

v - hệ số nhớt động học của không khí, m^2/s ;

ρ_m, ρ_k – lần lượt là khối lượng riêng của không khí và hạt, kg/m^3 ; Xem v là lưu tốc trung bình của dòng không khí trong buồng làm việc phần hình trụ. Trong thời gian τ hạt sẽ thực hiện n vòng với bán kính trung tâm của mỗi vòng:

$$R_0 = (R_1 + R_2)/2 \quad (25)$$

Chiều dài đoạn đường đi của hạt theo đường xoắn ốc trong buồng làm việc là:

$$2 \pi \cdot R_0 \cdot n = v \cdot \tau \quad (26)$$

Vậy thời gian lắng của hạt trong buồng hình trụ là:

$$\tau = 2\pi \cdot R_0 \cdot n/v = 2\pi n/\omega \quad (27)$$

Cân bằng vế phải của 2 biểu thức (24) và (27) ta xác định được cỡ hạt lớn nhất tách được sau khi thoát khỏi buồng làm việc đến bộ phận thu hồi là:

$$d = 3 \cdot \sqrt{\frac{v}{\pi \cdot n \cdot \omega} \cdot \frac{\rho_k}{\rho_m} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}}, \text{ m}; \quad (28)$$

Ý kiến thảo luận

- Không gian luồng không khí – phần tử nghiên sau khi vào buồng làm việc sẽ qui định không gian phần hình nón của buồng làm việc. Theo đó, tại mặt cắt đầu 1 – 1 tương ứng với luồng thì diện tích buồng làm việc không được lớn hơn 20 % diện tích tiết diện của luồng (diện tích ống vận chuyển dòng không khí – phần tử nghiên vào

buồng làm việc). Điều kiện này đảm bảo hạn chế hiện tượng rối loạn trong phần thể tích thu hồi các sản phẩm nghiền có kích thước lớn về nghiền lại. Từ điều kiện này cho phép tính toán về mặt lý thuyết chiều dài ống vận chuyển không khí – phần tử nghiền trong buồng làm việc.

- Nếu xem như dòng không khí – phần tử nghiền có vận tốc quay bằng vận tốc rô to thì từ công thức (28) cho thấy thay đổi vận tốc quay của rô to ta có thể điều khiển kích thước phần tử nghiền thu hồi. Để thu hồi được các phần tử nghiền có kích thước càng bé thì vận tốc quay càng lớn và ngược lại. Vì vậy trong các máy nghiền siêu mịn dùng trong chế biến thức ăn thủy sản thu hồi các phần tử nghiền có kích thước $\leq 250 \mu\text{m}$ thì vận tốc quay của rô to trong khoảng 200 – 500 g/ph, còn trong các máy nghiền bột đá để thu hồi các phần tử nghiền có kích thước $\leq 1,5 \mu\text{m}$ thì vận tốc quay của rô to đạt tới 3.000 vg/ph.

- Từ công thức 28 qui định kích thước buồng lắng bụi.

KẾT LUẬN – ĐỀ NGHỊ

Cơ chế lọc sản phẩm nghiền trong buồng làm việc của thiết bị phân ly kiểu ly tâm làm việc như một cyclon theo cơ chế thủy khí động lực học. Các kết quả nghiên cứu trên đã kế thừa từ lý thuyết thủy khí động lực học. Phân tích các kết quả nghiên cứu này cho ta cơ sở tính toán thiết kế thiết bị phân loại hạt làm việc theo nguyên tắc ly tâm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bộ môn Cơ lưu chất, 1997. *Giáo trình cơ lưu chất*. NXB trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh.

Trần Ngọc Chấn, 1998. *Kỹ thuật thông gió*. NXB Xây Dựng Hà Nội.

Hoàng Kim Cơ, 1999. *Kỹ thuật lọc bụi và làm sạch khí*. NXB Giáo dục Hà Nội.

Hoàng Văn Quý, 1997. *Thủy lực và khí động lực*. NXB Khoa học & Kỹ thuật Hà Nội.

Snow R.H., Kaye B.H., Capes C. E., Sresty G.C., 1984. Size Reduction and Size Enlargement. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. Sixth edition. Perry R.H., Green D.W., McGraw – Hill Book Company, pp 8.35 – 8.60.