

Study on Theory of Separation Efficiency of Twin-Spiral Separator in a Grinding-Separation Apatite Process

Nguyen Trung Dung*, Nguyen Dang Binh Thanh, Ta Hong Duc

Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

*Email: dung.nguyentrung@hust.edu.vn

Abstract

Study on twin-spiral separator in a grinding - separation apatite process is presented. The evaluation of separation efficiency of the solid - solid separator by gravity sedimentation such as settling tanks or by centrifugal such as cyclone, centrifuge equipment in chemical industry is necessary. This study shows a method to evaluate the separation performance of a separator using the theory of separation efficiency. The method has been applied to the twin-spiral separator in a grinding - separating process at Vietnam Apatite Mineral Processing Company.

Keywords: Index of separation accuracy, solid - solid separation, separation efficiency, twin-spiral separator, apatite

1. Mở đầu

Quá trình phân riêng hệ rắn - rắn, rắn - lỏng, rắn - khí thường được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp như công nghiệp hóa chất, công nghiệp xi măng, công nghiệp khai thác mỏ, ... Các thiết bị phân riêng này có thể kể đến như sàng phân loại, phòng lắng, bể lắng, cyclone, cyclone thủy lực, ly tâm lắng, ... [1, 2, 3]. Pha rắn trong hệ gồm tập hợp các hạt rắn được gọi là pha phân tán và pha lỏng hay pha khí trong hệ gọi là pha liên tục. Hỗn hợp rắn - rắn, rắn - lỏng, rắn - khí được đi qua các thiết bị phân riêng với mục đích tách pha phân tán ra khỏi pha liên tục theo những đặc trưng phân riêng khác nhau. Tuy nhiên, quá trình phân riêng này thường không đạt tới lý tưởng như trong tính toán thiết kế do điều kiện làm việc của thiết bị thay đổi (ví dụ như các thông số của dòng vào không ổn định) và vì vậy, các thiết bị này thường được đánh giá bởi hiệu quả phân riêng.

Việc đánh giá hiệu quả phân riêng của các thiết bị này có thể sử dụng thông số hiệu suất phân riêng hoặc kích thước phân riêng d_{50} . Tuy nhiên, giá trị về hiệu suất phân riêng và kích thước phân riêng d_{50} chưa đánh giá được rõ ràng mức độ phân riêng của thiết bị là tốt hay xấu. Các phương pháp đánh giá này chưa đề cập tới sự ảnh hưởng của phân bố kích thước của phân tử rắn, tốc độ dòng chảy, nhiệt độ, loại chất lỏng, nồng độ chất rắn vào, ... Để có được đánh giá này người ta thường sử dụng hàm phân riêng và chỉ số phân riêng Ψ để đánh giá khả năng làm việc của thiết bị [1, 2, 3, 4]. Hàm phân riêng là hàm số mô tả hiệu suất phân riêng dựa trên một tính chất vật lý nào đó của hạt rắn trong một máy hoặc thiết bị phân riêng cơ học thông thường.

Ở nước ta, mỏ Apatit nằm ở Lào Cai với trữ lượng thăm dò và dự báo trên 2 tỷ tấn, trong đó trữ lượng đã thăm dò gần 800 triệu tấn. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, lượng quặng Apatit sụt giảm nhanh chóng ảnh hưởng tới các ngành công nghiệp khác như công nghiệp phân bón và hóa chất. Hơn nữa, nhà máy tuyển quặng Apatit Lào Cai với hệ thống thiết bị lạc hậu có thể ảnh hưởng tới quá trình thu hồi quặng tinh trong quá trình tuyển. Trong nghiên cứu này, chu trình nghiền - phân riêng quặng Apatit ở nhà máy tuyển quặng Apatit Lào Cai được khảo sát để đánh giá khả năng làm việc của máy phân cấp vít xoắn kép trong hệ thống thông qua việc xây dựng hàm phân riêng và tính toán chỉ số phân riêng của thiết bị.

2. Cơ sở lý thuyết

Quá trình phân riêng là quá trình đi từ một hỗn hợp vật liệu ban đầu được phân chia ít nhất thành hai sản phẩm nhờ vào một đặc điểm phân riêng điển hình. Đối với quá trình phân riêng rắn - rắn, dựa vào đặc điểm phân riêng ta có thể chia thành hai loại: (1) nếu chỉ có một loại vật liệu thì phân riêng theo kích thước hạt như máy sàng, lắng trọng lực, lắng ly tâm, phân riêng trong dòng khí, ... (2) nếu gồm nhiều loại vật liệu khác nhau thì có thể phân riêng theo các đặc tính khác như khối lượng riêng, từ tính, độ nhiễm điện, sức căng bề mặt, ... Để đánh giá quá trình phân riêng rắn - rắn, ta có thể sử dụng hàm phân riêng. Hai đại lượng vật lý quan trọng nhất chính là kích thước hạt và khối lượng riêng của hạt.

Xét tập hợp hạt ban đầu có đường cong tổng phân bố $F_A(\xi)$ như Hình 1. Trong đó, ξ_u và ξ_o lần lượt là giới hạn dưới và giới hạn trên của một trong những tính chất đặc trưng phân riêng của tập hợp hạt ($\xi_u < \xi < \xi_o$).

Trong bài báo này đặc trưng phân riêng của tập hợp hạt ξ là kích thước hạt d . Gọi ξ_T là giá trị cần phân riêng. Như vậy, mục đích của quá trình phân riêng hệ rắn - rắn là phân tách tập hợp hạt ban đầu F_A ($\xi_u < \xi < \xi_o$) thành một tập hợp hạt mịn F_K ($\xi_u < \xi < \xi_T$) và một tập hợp hạt thô F_G ($\xi_T < \xi < \xi_o$) mô tả như Hình 1.

Tuy nhiên, trong thực tế, các quá trình phân riêng không đạt được điều đó do hiệu suất phân riêng luôn nhỏ hơn 100% nên F_K luôn chứa các hạt có kích thước nằm trong dải ($\xi_u < \xi < \xi'_o$) trong đó ($\xi_T < \xi'_o$) và F_G luôn chứa các hạt nằm trong khoảng ($\xi'_u < \xi < \xi_o$) với ($\xi'_u < \xi_T$). Hàm tổng phân bố của hai tập hợp hạt F_K và F_G này được mô tả khái quát trên Hình 2.

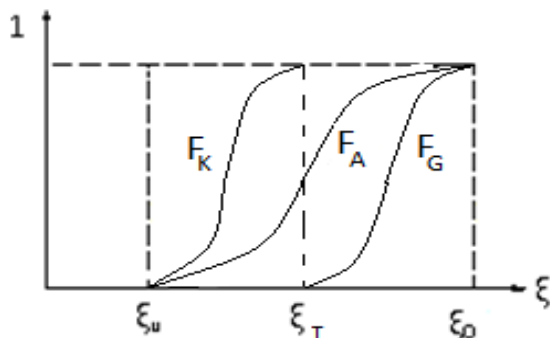
Gọi $f_A(\xi)$ là mật độ phân bố của vật liệu ban đầu; $f_K(\xi)$ là mật độ phân bố của sản phẩm mịn; $f_G(\xi)$ là mật độ phân bố của sản phẩm thô. Trong đó, hàm mật độ phân bố của một tập hợp hạt bất kỳ được biểu diễn bằng biểu thức:

$$f(\xi) = \frac{dF}{d\xi} \quad (1)$$

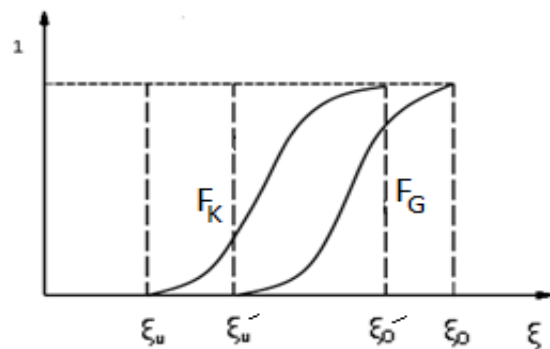
Phương trình cân bằng vật liệu của quá trình phân riêng có dạng:

$$m_A = m_K + m_G \quad (2)$$

trong đó: m_A, m_K, m_G lần lượt là khối lượng của tập hợp hạt ban đầu, mịn, và thô.



Hình 1. Hàm tổng phân bố của vật liệu ban đầu, sản phẩm mịn và sản phẩm thô lý tưởng



Hình 2. Hàm tổng phân bố của sản phẩm mịn và thô thực tế

Gọi R_{mK} và R_{mG} là tỷ lệ thu hồi sản phẩm mịn và sản phẩm thô được xác định theo công thức sau:

$$R_{mK} = \frac{m_K}{m_A} \quad (3)$$

$$R_{mG} = \frac{m_G}{m_A} \quad (4)$$

Trên cơ sở cân bằng vật liệu của quá trình phân riêng, phân bố tập hợp hạt của nguyên liệu đầu có thể biểu diễn bằng biểu thức dưới dạng:

$$F_A(\xi) = R_{mK}F_K(\xi) + R_{mG}F_G(\xi) \quad (5)$$

$$f(\xi) = \frac{dF(\xi)}{d\xi}$$

$$f_A(\xi) = R_{mK}f_K(\xi) + R_{mG}f_G(\xi) \quad (6)$$

Phương trình (5) và (6) có thể viết dưới dạng:

$$1 = R_{mK} \frac{f_K(\xi)}{f_A(\xi)} + R_{mG} \frac{f_G(\xi)}{f_A(\xi)} \quad (7)$$

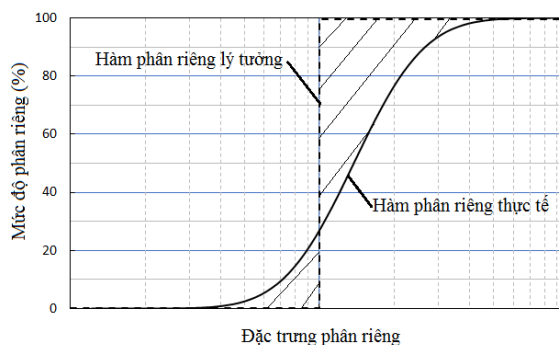
$$\text{hoặc } 1 = T_K(\xi) + T_G(\xi) \quad (8)$$

trong đó: $T_K(\xi), T_G(\xi)$ lần lượt là hàm phân riêng tính cho sản phẩm mịn và sản phẩm thô. Nghĩa là, các hàm này sẽ chỉ ra rằng phần khối lượng nào của lớp hạt (ξ đến $\xi + d\xi$) được mang vào trong sản phẩm mịn K hay sản phẩm thô G .

Rõ ràng, khi biết được hàm $T_G(\xi)$ ta sẽ xác định được hàm $T_K(\xi)$ và ngược lại nên ta chỉ cần biết một trong hai hàm là đủ. Để thuận tiện, hàm phân riêng tính theo sản phẩm thô thường được sử dụng để khảo sát.

$$T_G(\xi) = T(\xi) \quad (9)$$

Khi $T(\xi)$ tức là ($\xi + d\xi$) hoàn toàn nằm trong sản phẩm mịn. Khi $T(\xi) = 1$ tức là ($\xi + d\xi$) hoàn toàn nằm trong sản phẩm thô. Hình 3 mô tả hàm phân riêng lý tưởng và hàm phân riêng trong thực tế. Trong đó, đặc trưng phân riêng là một trong những đặc trưng mang tính vật lý của đối tượng đang nghiên cứu (kích thước hạt, khối lượng riêng của hạt, độ thấm ướt, từ tính, ...).



Hình 3. Đồ thị hàm phân riêng T_i

Trong trường hợp sử dụng phương pháp rây phân tích để xác định hàm tổng phân bố và hàm mật độ phân bố, độ rộng của các lớp hạt không thể chọn nhỏ tùy ý được nên đưa ra khái niệm giới hạn lớp hạt từ ξ_{i-1} đến ξ_i . Khi đó ta có:

$$f(\xi_{i-1}, \xi) = \frac{F(\xi_i) - F(\xi_{i-1})}{\xi_i - \xi_{i-1}} = \frac{m_i}{\Delta \xi_i} \quad (10)$$

trong đó, m_i là phần khối lượng của lớp thứ i

Khi đó, hàm phân riêng được viết dưới dạng là số phần chia của lớp thứ ξ_{i-1} đến ξ_i .

$$T(\xi_{i-1}, \xi_i) = T_i = \frac{R_{mG} m_{iG}}{m_{iA}} \quad (11)$$

trong đó, m_{iG} là phần khối lượng của lớp i trong sản phẩm thô; m_{iA} là phần khối lượng của lớp i trong vật liệu đầu

Để đánh giá mức độ phân riêng của một quá trình phân riêng bất kỳ người ta đưa ra khái niệm độ chính xác của quá trình phân riêng ψ trên cơ sở hàm phân riêng T_i

$$\psi = \frac{\xi_{75}}{\xi_{25}} \quad (12)$$

trong đó, ξ_{75} và ξ_{25} lần lượt là mức độ phân riêng 75% và 25% của một đặc trưng phân riêng ξ .

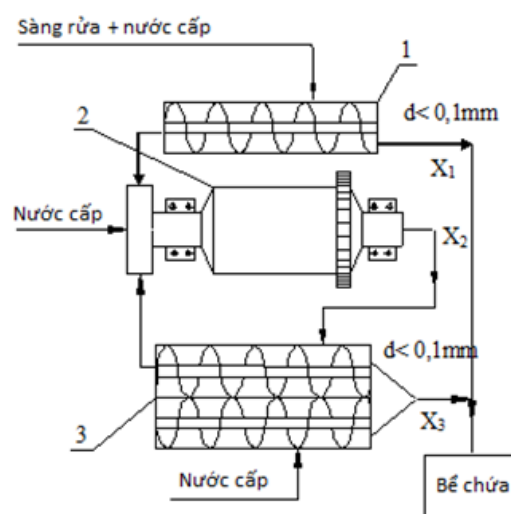
Khi $\psi=1$ thì quá trình phân riêng là lý tưởng. Khi ψ càng xa 1, quá trình phân riêng càng không tốt. Thực tế cho thấy rằng độ chính xác của quá trình phân riêng không bao giờ bằng 1 do có nhiều yếu tố ảnh hưởng khác nhau [1, 2, 3, 4]. Kết quả của quá trình phân riêng càng không tốt nếu hàm phân riêng của nó càng lệch xa với hàm lý tưởng. Điều này được thể hiện bằng đường gạch chéo trên Hình 3.

3. Kết quả và thảo luận

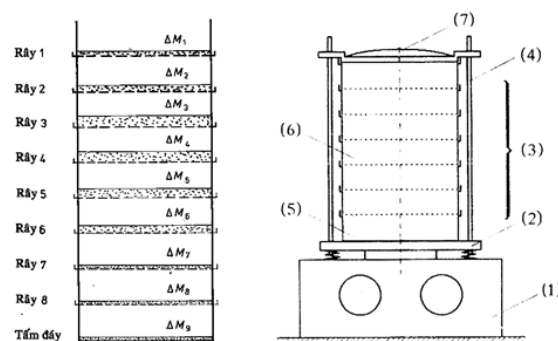
Hình 4 mô tả chu trình nghiền - phân riêng quặng apatit tại nhà máy Apatit Lào Cai. Quặng sau khi được đập sơ bộ bằng máy đập trục đưa vào sàng rửa thùng quay. Từ sàng rửa thùng quay quặng có kích thước nhỏ hơn 10 mm được cấp vào máy phân cấp vít xoắn đơn, dưới tác dụng của trọng lực, có tác dụng phân thành hai sản phẩm. Sản phẩm thô đi ra có kích thước hạt lớn hơn 0,1 mm được đưa vào máy nghiền bi kiểu ướt. Sau đó, quặng từ máy nghiền bi được cấp vào máy phân cấp vít xoắn kép. Tại đây, sản phẩm thô đi ra có kích thước lớn hơn 0,1 mm được tuần hoàn trở lại máy nghiền bi. Sản phẩm mịn đi ra từ máy phân cấp vít xoắn đơn và kép có kích thước hạt nhỏ hơn 0,1 mm được đưa vào bể chứa có cánh khuấy chống hiện tượng sa lắng sau đó được bơm đến các công đoạn tiếp theo [5, 6, 7].

Rõ ràng, máy phân cấp vít xoắn đơn và kép cùng có nhiệm vụ phân riêng thành hai sản phẩm mịn và thô với kích thước yêu cầu là 0,1 mm. Tuy nhiên máy phân cấp vít xoắn đơn chỉ có nhiệm vụ phân riêng sơ bộ còn

máy phân cấp vít xoắn kép có nhiệm vụ phân riêng là chủ yếu. Vấn đề đặt ra là quá trình phân riêng quặng ở máy phân cấp vít xoắn đơn và kép ở đây là tốt hay xấu? Nếu sản phẩm thô chứa phần lớn các hạt có kích thước nhỏ hơn 0,1 mm sẽ ảnh hưởng tới quá trình nghiền như giảm năng suất làm việc của máy. Ngược lại, sản phẩm mịn chứa phần lớn các hạt có kích thước lớn hơn 0,1 mm sẽ ảnh hưởng tới quá trình tuyển và làm thất thoát lượng quặng tinh thu hồi. Như đã phân tích ở trên, nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá khả năng phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép trong chu trình nghiền - phân riêng quặng Apatit.



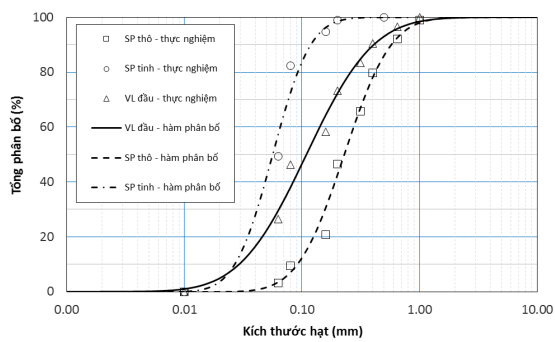
Hình 4. Chu trình nghiền - phân riêng quặng Apatit Lào Cai: (1) Vít xoắn đơn; (2) Nghiền bi kiểu ướt; (3) Vít xoắn kép



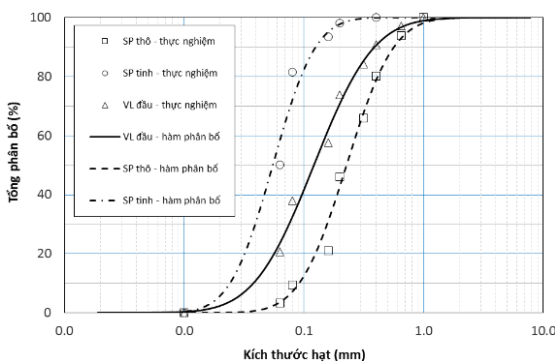
Hình 5. Máy rây phân tích: (1) Hộp tạo dao động; (2) Đế máy; (3) Vùng lắp rây phân tích; (4) Thanh kẹp rây; (5) Tấm đáy; (6) Rây phân tích; (7) Tấm nắp

Tiến hành thực nghiệm xác định hàm tổng phân bố theo kích thước hạt quặng bằng phương pháp rây phân tích [2]. Số lượng rây phân tích bằng 8 với kích thước lỗ rây cụ thể trong thực nghiệm lần lượt gồm: 0,65mm; 0,4mm; 0,315mm; 0,2mm; 0,16mm; 0,08mm; 0,063mm và tấm đáy. Các mẫu thực nghiệm với tổng khối lượng mẫu thử là 250g. Thời gian sàng cho mỗi mẫu khoảng 30 phút. Sau khi ngừng rây, tiến hành kiểm tra độ lọt sàng với tỷ lệ lọt sàng < 5%. Nếu

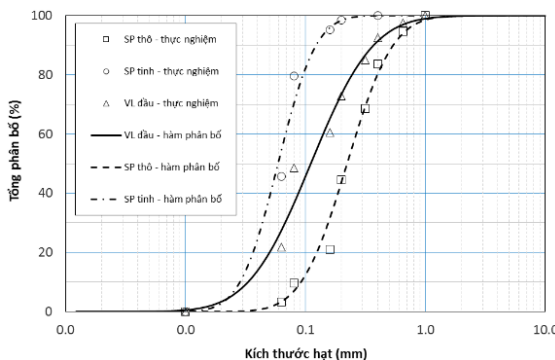
chưa đạt, tiếp tục tiến hành rây cho đến khi đạt được tỷ lệ lọt sàng đạt độ sai số cho phép. Cho hỗn hợp vật liệu nằm trên bề mặt rây trên cùng. Tiến hành lắc, rung để tạo chuyển động tương đối giữa vật liệu và bề mặt rây. Khi đó những vật liệu nào có kích thước hạt nhỏ hơn kích thước của lỗ rây sẽ lọt qua, còn các vật liệu có kích thước hạt lớn hơn kích thước của lỗ rây thì nằm lại trên lưới rây như Hình 5. Để đánh giá chính xác hơn khả năng phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép, tiến hành thực nghiệm với 3 mẫu (a), (b), và (c) tại các thời điểm làm việc khác nhau của máy.



(a) $R_{mG} = 0,470$



(b) $R_{mG} = 0,411$



(c) $R_{mG} = 0,4522$

Hình 6. Hàm tổng phân bố vật liệu đầu, sản phẩm tinh và thô của máy phân cấp vít xoắn kép với mẫu thực nghiệm (a), (b), và (c)

Hình 6 (a,b,c) mô tả hàm tổng phân bố của vật liệu ban đầu, sản phẩm mịn và sản phẩm thô của máy

phân cấp vít xoắn kép. Dải kích thước hạt vào từ nhỏ hơn 0,063 mm đến lớn hơn 0,65 mm. Quá trình công nghệ cần phân loại kích thước 0,1 mm, có nghĩa là hạt có kích thước lớn hơn 0,1 mm quay trở lại máy nghiền bi và hạt có kích thước nhỏ hơn 0,1 mm vào bể chứa trung gian. Dựa vào hàm tổng phân bố sản phẩm mịn trên Hình 6 (a,b,c), dễ thấy rằng, lượng sản phẩm mịn có kích thước hạt nhỏ hơn 0,1 mm chiếm hơn 80% khối lượng còn lượng có kích thước hạt lớn hơn 0,1 mm chiếm khoảng 20% khối lượng. Điều đó cho thấy lượng kích thước hạt lớn hơn 0,1mm trong sản phẩm mịn sẽ làm giảm khả năng thu hồi P_2O_5 trong quặng tinh và do đó ảnh hưởng tới năng suất cũng như kinh tế của toàn bộ nhà máy. Ngược lại, dựa vào hàm tổng phân bố sản phẩm thô, phần khối lượng có kích thước hạt nhỏ hơn 0,1 mm chiếm khoảng 10% khối lượng và phần còn lại chiếm gần 90% khối lượng. Lượng hạt có kích thước nhỏ hơn 0,1 mm quay lại máy nghiền bi sẽ làm giảm khả năng làm việc và năng suất nghiền của thiết bị nghiền bi kiểu ướt. Về mặt thực tế, đối với một thiết bị phân riêng thì không bao giờ có hiệu suất phân riêng bằng 100%. Do đó, cần thêm một bước nữa để phân tích và đánh giá khả năng làm việc của máy phân cấp vít xoắn kép có tốt hay không.

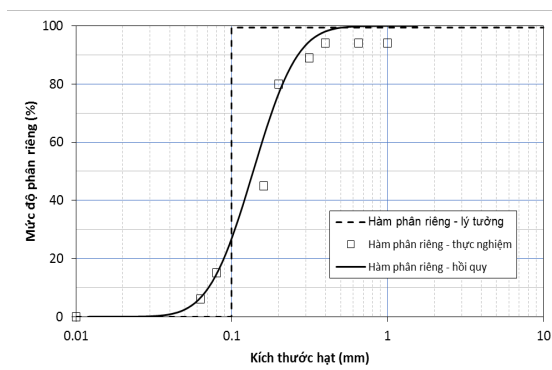
Trên cơ sở Hình 6 (a,b,c) xác định được tỷ lệ thu hồi sản phẩm thô R_{mG} của các mẫu (a), (b), và (c) tương ứng là: 0,470; 0,411 và 0,4522. Hình 7 (a,b,c) mô tả được hàm phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép. Đường nét đứt thể hiện hàm phân riêng lý thuyết, trong đó, kích thước phân riêng yêu cầu tại kích thước hạt bằng 0,1 mm. Đường nét liền thể hiện là hàm phân riêng hồi quy.

Trên cơ sở số liệu thực nghiệm, đã xác định được các giá trị ξ_{25} , ξ_{75} và từ đó tính toán được chỉ số phân riêng ψ theo công thức (12) được trình bày trong Bảng 1.

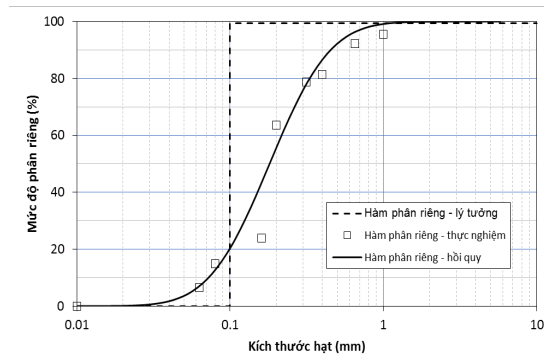
Bảng 1. Chỉ số phân riêng cho các mẫu thực nghiệm tại máy phân riêng vít xoắn kép

Mẫu	d_{25}	d_{75}	ψ
(a)	0,105	0,214	2,038
(b)	0,112	0,298	2,663
(c)	0,101	0,238	2,349

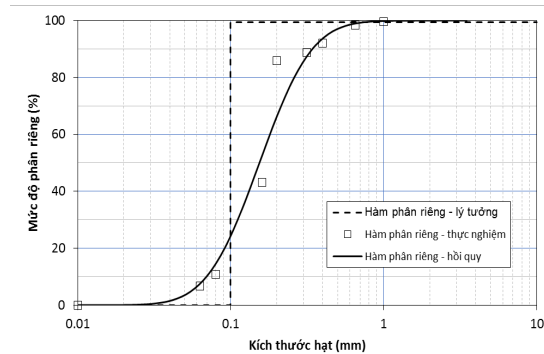
Theo các số liệu thực nghiệm, chỉ số phân riêng thực tế của một thiết bị lắng nhờ trọng lực thường nằm trong khoảng $1,732 < \psi < 8$ [4]. Bảng 1 cho biết rằng chỉ số phân riêng ψ của máy phân cấp vít xoắn kép nằm trong khoảng từ 2,038 đến 2,661. Rõ ràng, giá trị phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép nằm trong khoảng cho phép. Điều đó có nghĩa là máy phân cấp vít xoắn kép của chu trình làm việc tương đối hiệu quả. Trong trường hợp ngược lại, nếu chỉ số phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép không nằm trong dải cho phép, cần điều chỉnh thiết bị như giảm tốc độ quay của vít xoắn, giảm góc nghiêng của thiết bị,... giúp quá trình phân riêng xảy ra triệt để hơn.



(a) $\Psi = 2,038$



(b) $\Psi = 2,663$



(c) $\Psi = 2,349$

Hình 7. Hàm phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép với mẫu thực nghiệm (a), (b), và (c)

4. Kết luận

Để đánh giá một quá trình phân riêng hệ rắn - rắn bất kỳ xảy ra trong các thiết bị phân riêng như phòng

lắng, bể lắng, hệ thống cyclone, máy ly tâm lắng,... trong công nghiệp thì việc sử dụng lý thuyết hàm phân riêng là cần thiết. Khi chỉ số phân riêng gần 1 thì quá trình phân riêng là tốt ngược lại khi chỉ số này cách xa giá trị 1 thì khả năng phân riêng của thiết bị càng kém. Bài báo đánh giá hiệu quả của chu trình nghiền - phân riêng cho quặng Apatit của nhà máy Tuyển quặng Apatit Lào Cai. Kết quả cho thấy chỉ số phân riêng của máy phân cấp vít xoắn kép nằm trong khoảng 2,038 đến 2,663. Do đó, khả năng làm việc của máy phân cấp vít xoắn kép là đạt yêu cầu. Tỷ lệ kích thước hạt lớn hơn 0,1mm trong sản phẩm mịn chiếm khoảng 20% khối lượng. Tỷ lệ kích thước hạt nhỏ hơn 0,1 mm trong sản phẩm thô quay lại máy nghiền chiếm 10%. Các thông số phân riêng của hệ thống là chấp nhận được để có thể tiếp tục tới quá trình công nghệ tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

- [1] Ladislav Svarovsky, Solid - Liquid Separation, Oxford Auckland Boston Johannesburg Melbourne New Delhi, 2000, pp. 66-102.
- [2] Hiroaki Masuda, Ko Higashitani, Hideto Yoshida, Powder Technology Handbook, Taylor & Francis, 2006. Available: <https://doi.org/10.1201/9781439831885>
- [3] Alex C. Hoffmann, Dr. Louis E. Stein, Gas Cyclones and Swirl Tubes: Principles, Design and Operation, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 2008, pp. 89-106.
- [4] Jolanta Marciniak-Kowalska, Some theoretical aspects of the classification process in lamella classifiers, New Trends in Coal preparation Technologies and Equipment, Proceeding of the 12th International Coal Preparation Congress, Cracow, Poland, May 23 - 27, 1994, pp. 71 - 79.
- [5] Nguyen Trung Dung, Vy Thi Minh Tam, Ha Thi An, Determination of the filter cake characteristics of Laoai Apatite suspension, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Tập 45, số 6 (ĐB), 2007, pp. 273-278.
- [6] Nguyễn Trung Dũng, Nguyễn Đăng Bình Thành, Hà Thị An, Phương pháp xác định quy luật phân bố tập hợp hạt, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Tập 45, Số 2, 2007.
- [7] Nguyễn Trung Dũng, Nghiên cứu cấu trúc tập hợp hạt và ảnh hưởng của nó lên quá trình lọc tạo bã, Luận văn thạc sỹ ngành Công nghệ hóa học, Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2006