



NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ LỌC CAO ÁP DẠNG NUTSCHE QUY MÔ THÍ NGHIỆM ĐỂ KHỬ NƯỚC BÙN MỊN CỦA MỘT SỐ NHÀ MÁY TUYỂN

Phạm Thanh Hải

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 8 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 27/5/2025

Ngày nhận bài sửa: 08/7/2025

Ngày chấp nhận đăng: 18/7/2025

Tác giả liên hệ:

Email: phamthanhhai@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Trong ngành công nghiệp chế biến khoáng sản, các sản phẩm cần phải được khử nước. Công nghệ khử nước có thể liệt kê ra như quá trình sàng, ly tâm, lắng, lọc, sấy... Các nghiên cứu về lọc ở Việt Nam, đặc biệt là lọc các sản phẩm cỡ hạt mịn, siêu mịn của tuyển khoáng vẫn chưa có nhiều. Trở lực lọc, độ ẩm của vật liệu là các chỉ tiêu cơ bản trong nghiên cứu lọc. Tuy nhiên vẫn chưa có các công nghệ, thiết bị để xác định được các thông số này. Bài báo cung cấp các công thức lý thuyết cơ bản để xác định trở lực lọc của vật liệu. Đây chính là cơ sở để có thể xác định trở lực lọc bằng các phương pháp thực nghiệm, rút ngắn thời gian phân tích. Trên cơ sở đó, một bộ bản vẽ chi tiết về thiết bị thí nghiệm dạng Nutsche, được cung cấp và mô tả. Thiết bị này đã được sử dụng để nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng của các sản phẩm nhà máy tuyển như độ hạt, nồng độ pha rắn, khối lượng phân rắn, áp suất lọc, ảnh hưởng của chất trợ lọc đến trở lực lọc và độ ẩm vật liệu sau lọc. Nội dung của bài báo là tài liệu tham khảo quý giá khi nghiên cứu thực nghiệm các thông số lọc và là cơ sở để vận hành, điều chỉnh công nghệ lọc, thiết kế các hệ thống máy công nghiệp mới hay cải tạo các thiết bị cũ.

Từ khóa: ống lọc Nutsche, trở lực lọc riêng, bùn than, quặng, bùn đỏ.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lọc là quá trình các hạt chất rắn hình thành lên trên vật liệu lọc, nước lọc trực tiếp đi qua lớp bánh lọc và vải lọc. Thông thường có ba bước của quá trình lọc đó là: giai đoạn hình thành bánh lọc, giai đoạn dịch chuyển cơ học của nước lọc; giai đoạn làm khô bánh lọc. Tương ứng với các giai đoạn giảm độ ẩm, các giai đoạn của máy lọc đó là: giai đoạn hình thành bánh lọc; giai đoạn giảm độ ẩm; giai đoạn rửa (nếu cần thiết); giai đoạn tháo bánh lọc và giai đoạn làm sạch vải lọc. Quá trình lọc thông thường được ứng dụng trong tuyển khoáng ở giai đoạn sau khâu cô đặc. Bùn cô đặc có thể được cấp vào thùng khuấy và được cấp vào máy lọc. Chất kết bông đôi khi được cấp vào thùng khuấy để hỗ trợ quá trình lọc với lý do kết bông các hạt slam mịn. Mặt khác các chất hỗ trợ lọc có thể được cấp để giảm sức căng bề mặt của chất lỏng, thay đổi

đặc tính bề mặt của các hạt vật liệu để hỗ trợ tốc độ dòng chảy qua bánh lọc và vải lọc. Quá trình lọc hiệu quả dẫn đến các lợi thế: (1) Dễ dàng trong vận chuyển, lưu kho các sản phẩm; (2) Chi phí sản xuất giảm xuống do phần lớn chất lỏng, hoá chất được thu hồi và tái sử dụng; (3) Môi trường được cải thiện; (4) Giá trị của sản phẩm sau chế biến được tăng lên, thoả mãn nhu cầu về độ ẩm của khách hàng và các yêu cầu kỹ thuật khác.

Tuy nhiên quá trình lọc đang gặp rất nhiều khó khăn do một trong các yếu tố là độ hạt sản phẩm. Vật liệu vào lọc có độ hạt ngày càng mịn, thậm chí giảm xuống đến vài micromet, thành phần độ hạt rộng. Công nghệ lọc có những bước thay đổi chậm chạp, chủ yếu dựa vào sự gia tăng áp suất lọc, thay đổi đặc tính của các loại vải lọc. Kết quả sau cùng là độ ẩm sản phẩm vẫn cao, đòi hỏi phải có các công nghệ đắt tiền hơn (công đoạn sấy) và thời



gian dài để xử lý. Trong ngành công nghiệp chế biến khoáng sản, không chỉ tinh quặng mà đuôi thải cũng cần phải được khử nước. Giải pháp xây dựng các hồ chứa vẫn đang tranh cãi và nó thực sự tiềm ẩn rất nhiều nguy cơ đến môi trường và hệ sinh thái. Ở Việt Nam, các nghiên cứu sâu về quá trình lọc vật liệu khoáng sản mịn cũng như các thiết bị lọc phù hợp chưa có nhiều. Bài báo trình bày loại thiết bị lọc dạng ống để xác định trở lực lọc riêng và độ ẩm vật liệu. Thiết bị không chỉ có ý nghĩa trong việc nghiên cứu lý thuyết, bản chất và khả năng lọc của các vật liệu mà còn cung cấp cơ sở cho nghiên cứu phát triển thiết bị ở quy mô bán công nghiệp và công nghiệp.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết bị thí nghiệm lọc dạng ống Nutsche

2.1.1. Lý thuyết quá trình lọc

Lý thuyết của quá trình lọc được bắt nguồn từ công thức kinh điển của Darcy và Poiseuille [3]:

$$v = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot \left(\alpha \cdot w \cdot \frac{V}{A} \right)} \quad (1)$$

Trong đó:

v - tốc độ của nước lọc, $m.s^{-1}$;

A - diện tích máy lọc, m^2 ;

V - thể tích của nước lọc, m^3 ;

t - thời gian, giây;

ΔP - độ chênh áp suất giữa đầu vào và đầu ra qua bánh lọc và vải lọc, $N.m^{-2}$;

μ - độ nhớt động lực học, $N.s.m^{-2}$,

α - trở lực, $m.kg^{-1}$;

w - nồng độ bùn đầu - được xác định là tỷ số khối lượng chất rắn trên đơn vị thể tích nước lọc, $kg.m^{-3}$.

Phương trình Darcy-Poiseuille được thay đổi nếu tính thêm lực cản của vải lọc. Quá trình lọc (hay chính xác hơn là nước lọc có thể chảy thoát ra khỏi bánh lọc) chỉ có thể diễn ra khi áp suất lọc lớn hơn áp suất mao dẫn. Công thức xác định áp suất mao dẫn được thể hiện:

$$P_c = \frac{4 \cdot \gamma_l \cdot \cos\theta}{d_c} \quad (2)$$

Trong đó:

γ_l - sức căng bề mặt chất lỏng, N/m ;

θ - góc dính ướt, độ;

d_c là đường kính ống mao dẫn (ống giả tưởng, được hình thành bởi các hạt vật liệu), m .

Bên cạnh các cơ sở lý thuyết lọc, yếu tố ảnh hưởng chính đến hiệu quả của quá trình lọc là vải lọc. Các yêu cầu về vải lọc là khả năng thoát nước mà không bị hiệu ứng "blocking". Vải lọc có yêu cầu về độ cứng cơ học, chống mài mòn, và lực cản

chất lỏng thấp. Vật liệu sản xuất vải lọc là cotton, len, lanh, sợi đay, lụa, sợi thủy tinh, sợi các bon, kim loại, tơ nhân tạo, nylon, gỗ, cao su, polyme tổng hợp. Trong các vật liệu đó, sợi cotton thể hiện ưu điểm tốt hơn cả về độ bền, giá thành và sự đa dạng trong cách thức dệt. Tuy nhiên trong phạm vi bài báo, vấn đề kỹ thuật và thiết bị lọc sẽ được trình bày, vải lọc sẽ không được đề cập đến.

Đối với sản phẩm tuyển khoáng có cỡ hạt thô, vấn đề áp suất mao dẫn không cần quá bận tâm và có thể bỏ qua. Thách thức với quá trình lọc trong tuyển khoáng đó là các sản phẩm quặng tinh với nồng độ bùn lên đến 60%, gồm chủ yếu các hạt nhỏ hơn 0,1 mm hay trong luyện kim là các sản phẩm của quá trình thủy luyện (có những trường hợp 100% cấp hạt - 0,01 mm). Đại đa số các thiết bị lọc hiện nay là dạng lọc bánh. Các thiết bị chủ yếu được phân loại theo dạng tạo áp suất; phương thức cấp liệu và tháo tải (gián đoạn và liên tục) với các thiết bị sử dụng chân không, khí nén. Loại máy lọc chân không có nhiều loại. Tất cả chúng đều được kết hợp với hệ thống vải lọc phù hợp, có hỗ trợ thoát nước. Các loại máy này được kết nối với hệ thống chân không ở bên dưới để giảm áp suất xuống dưới mức áp suất khí quyển để thoát nước. Hai hình thức lọc phổ biến là máy lọc tháo tải gián đoạn và máy lọc tháo tải liên tục [1].

2.1.2. Cách xác định trở lực lọc, độ ẩm của bánh lọc

Ngày nay, quá trình phân tách rắn lỏng đang dần trở nên phổ biến ở các quy mô của các lĩnh vực công nghiệp. Quá trình này thường dựa trên hai nguyên lý là lọc và lắng. Trong khi quá trình lắng dựa chủ yếu trên nguyên lý của sự khác nhau về tỷ trọng các pha, quá trình lọc là sự phân tách huyền phù bùn thành hai sản phẩm rắn - lỏng thông qua màng lọc (sàng, giấy, vải lọc, màng...). Các chất rắn nhìn chung được giữ lại trên màng lọc hoặc trong màng lọc. Quá trình lọc được chia làm hai loại chính là lọc sâu và lọc bánh. Lọc sâu là quá trình loại bỏ hoặc giữ lại các chất rắn không tan bằng cách chặn và giữ lại trong các lớp vật liệu lọc. Lọc bánh là quá trình các hạt chất rắn hình thành lên trên vật liệu lọc, nước lọc trực tiếp đi qua lớp bánh và vải lọc. Quá trình này được ứng dụng phổ biến trong ngành công nghiệp chế biến khoáng sản để khử nước [4].

Phạm Thanh Hải và Urs Peuker đã có các nghiên cứu về ứng dụng lọc hơi nước cao áp dạng Nutsche để khử nước vật liệu hạt mịn. Theo đó, vật liệu đá vôi có kích thước nhỏ hơn 12 μm được khử nước với độ ẩm đạt được là 17%. Kết quả này thấp hơn 20% so với lọc thông thường. Bài báo đã chỉ ra các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình lọc: hàm



lượng thể tích pha rắn trong bùn đầu, chiều dày bánh lọc, áp suất lọc [3]. Đây cũng là cơ sở chính khi nghiên cứu khảo sát các ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ ẩm của sản phẩm lọc.

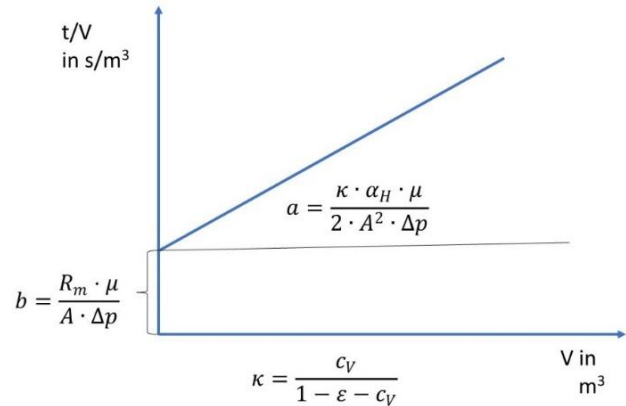
Một nghiên cứu khác của Phạm Thanh Hải đã chỉ ra triển vọng ứng dụng lọc cao áp dạng Nutsche để khử nước vật liệu hạt mịn cũng như xác định trở lực lọc riêng của bánh lọc. Các vật liệu được nghiên cứu là đá vôi sạch với độ hạt trung bình lần lượt 2,46 và 20,68 μm . Bằng việc xác định mối quan hệ giữa thời gian và thể tích lọc, trở lực lọc đã được xác định. Vật liệu hạt thô tương đối dễ lọc trong khi đó, vật liệu hạt mịn bị ảnh hưởng nặng bởi quá trình sa lắng do thời gian lọc lâu. Kết quả nghiên cứu đang giới hạn ở các vật liệu sạch trong quy mô thí nghiệm. Để tăng tính thực tiễn, các loại vật liệu mịn khác, các sản phẩm của quá trình chế biến khoáng sản, luyện kim, tái chế nên được nghiên cứu. Ngoài ra, cũng nên có các giải pháp để khắc phục hiện tượng thời gian lọc kéo dài, điều mà thường xuyên xảy ra với vật liệu hạt mịn [2].

Quá trình lọc được ứng dụng nhiều trong Tuyển khoáng để thu hồi nước của các sản phẩm tuyển, cung cấp các sản phẩm đáp ứng yêu cầu hộ tiêu thụ, đảm bảo các tiêu chí về môi trường. Các thiết bị lọc được sử dụng chủ yếu dựa trên các quá trình lọc chân không và lọc cao áp. Đối với quá trình lọc chân không, các thiết bị dạng tang quay, dạng đĩa, dạng khay, dạng băng tải được sử dụng nhiều hơn cả. Đối với quá trình lọc cao áp, các thiết bị phổ biến là lọc ép khung bản, lọc dạng buồng, lọc tăng áp. Trong khử nước cấp hạt mịn và siêu mịn, các thiết bị ly tâm lọc (máy ly tâm lọc dạng thẳng đứng tháo tải bằng cơ cấu rung, dạng thẳng đứng tháo tải quán tính, dạng thẳng đứng tháo tải bằng cánh xoắn, dạng nằm ngang tháo tải bằng cơ cấu rung), và ly tâm lắng được sử dụng [4].

Ở trong nước, các thiết bị lọc công nghiệp trong tuyển khoáng và luyện kim là lọc đĩa, lọc khung bản và lọc tăng áp. Thiết bị trong phòng thí nghiệm chủ yếu là lọc chân không. Tất cả các thiết bị này hoạt động tốt với vật liệu hạt thô, vật liệu dễ lọc (trở lực lọc thấp). Tuy nhiên do yêu cầu công nghệ chế biến, nguyên liệu khoáng sản ngày càng mịn dẫn đến các thiết bị lọc bị quá tải, hoạt động khử nước kém. Giải pháp hiện nay là lưu trữ ở các hồ thải (đối với các sản phẩm thải), hay sử dụng các phương pháp khử nước đắt tiền hơn (sấy đối với các sản phẩm quặng tinh). Giải pháp này là tạm thời, làm tăng nguy cơ với môi trường, tăng chi phí sản xuất. Do đó cần thiết phải có các nghiên cứu từ cơ bản đến ứng dụng thực tiễn để nâng cao hiệu quả lọc trong lĩnh vực này.

Ở ngoài nước, thiết bị lọc cao áp dạng Nutsche được sử dụng phổ biến với quy mô thí nghiệm để

xác định trở lực lọc và đánh giá hiệu quả lọc vật liệu hạt thô. Bộ tiêu chuẩn hướng dẫn VDI 2762 – 2 [11] có những hướng dẫn cụ thể về cách xác định trở lực lọc riêng. Theo đó, mối quan hệ giữa tỷ số thời gian lọc so với thể tích nước lọc và thời gian lọc (t/V và V) là cơ sở để tính toán. Đồ thị Hình 1 giới thiệu cách xác định thông số trên.



Hình 1. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ t/V và V

Trong đó:

α_H - trở lực riêng của bánh lọc, m^{-2} ;

R_m - trở lực của vải lọc, m^2/s ;

A - tiết diện ngang của Nutsche m^2 ;

μ - độ nhớt của nước lọc $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

Δp - độ chênh áp, Pa ;

κ là hệ số ảnh hưởng của nồng độ bùn (c_v) và độ rỗng (ϵ).

Giá trị trở lực lọc được tính theo hệ số góc của đường thẳng tuyến tính mối quan hệ t/V và V . Giá trị trở lực vải lọc được tính theo hệ số tự do b (giao điểm của đường tuyến tính khảo sát với trục tung). Cụ thể hai giá trị này được tính toán như phương trình (3) và (4):

$$\alpha_H = \frac{a \cdot 2 \cdot A^2 \cdot \Delta p}{\kappa \cdot \mu} \quad (3)$$

$$R_m = \frac{b \cdot A \cdot \Delta p}{\mu} \quad (4)$$

Lý thuyết của quá trình được trình bày trong các tài liệu nghiên cứu [5-10],[12] và được tóm tắt ở các ý chính: (1) Trở lực lọc là một giá trị trung bình. Trong thực tế, ở các phần khác nhau của bánh lọc, độ rỗng và tính thấm là khác nhau. Vận tốc dòng chất lỏng được đề cập là vận tốc tương đối giữa chất lỏng và các phần chất rắn. Kết quả là sự dịch chuyển phần rắn do hiệu ứng nén ở một số trường hợp bánh lọc có khả năng nén có thể bỏ qua.

2.1.3. Đặc tính kỹ thuật của thiết bị chế tạo

Thiết kế thiết bị lọc có khả năng xử lý các sản phẩm mịn và siêu mịn của tuyển khoáng cũng như xác định các thông số công nghệ cơ bản (trở lực lọc



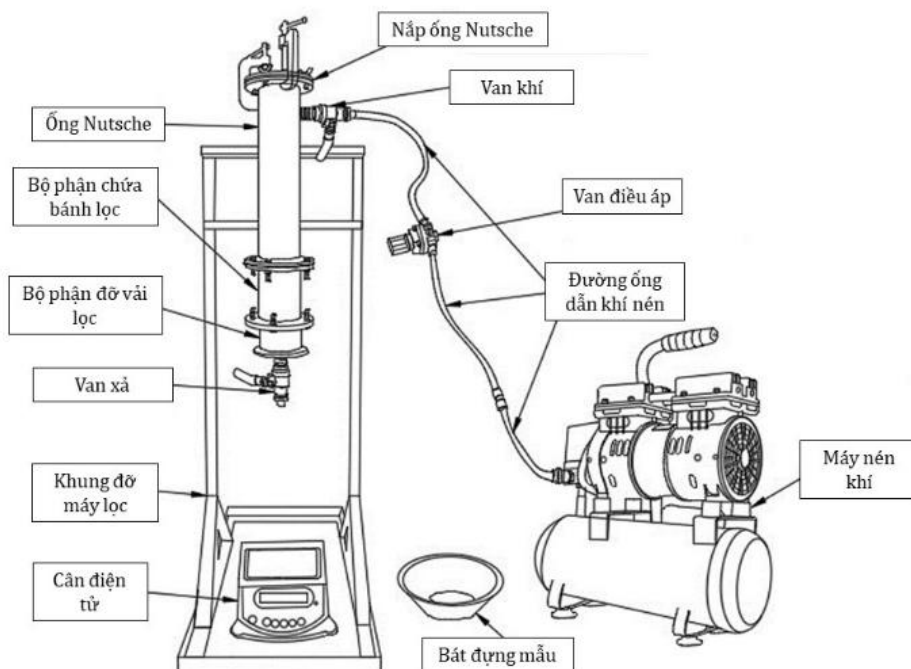
riêng, độ ẩm, độ bão hòa) làm cơ sở cho tính chọn thiết bị lọc trong sản xuất công nghiệp và tiến hành các nghiên cứu sâu về công nghệ lọc. Thiết bị có thể tăng áp suất lọc lên 8 bar, nhiều đầu cấp khí đảm bảo độ lớn khí ép và sự phân tán khí đều lên toàn bộ diện tích bánh lọc.

Cách tiếp cận ở đây là tham khảo các tài liệu công bố trên thế giới về thiết bị lọc dạng ống Nutsche theo bộ hướng dẫn VDI 2762 (phần 2) của Đức, kết hợp với các giải pháp thiết kế khác để cải tiến hoạt động của máy.

Các thông số của máy lọc như sau: (1) chiều cao cột tuyển: 40×10^{-2} m; (2) tiết diện cột tuyển: $50,26 \times 10^{-4}$ m²; (3) lưu lượng khí: 50 L/phút; (4) áp suất khí nén: 0- 6 at; (5) thiết bị hoạt động gián đoạn với năng suất lọc 200 gam/1 mẻ. Hình dáng phối cảnh máy được trình bày tại Hình.



Hình 2. Hình ảnh thiết bị lọc tăng áp dạng ống được chế tạo và đặt tại phòng thí nghiệm Tuyển khoáng và Môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

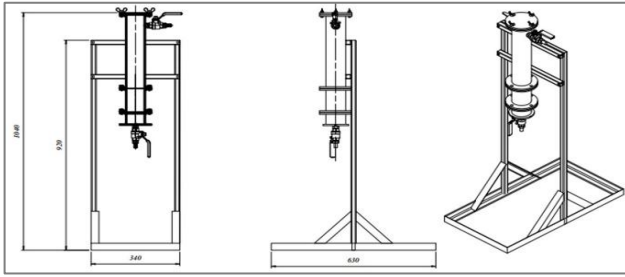


Hình 3. Phối cảnh thiết bị lọc cao áp dạng ống Nutsche thí nghiệm

2.1.4. Mô tả thiết bị thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm là một cột ống lọc dạng Nutsche (Hình 4), gồm ba phần: Phần trụ tròn chứa bùn đầu, phần chứa bánh lọc và phần đỡ vải lọc. Phần hình trụ tròn chứa bùn đầu có đường kính 4×10^{-2} m, chiều dài 20×10^{-2} m. Trên đầu ống có hệ thống nắp ống lọc và van điều áp, van đóng mở khí nhằm điều chỉnh lượng khí vào ống lọc. Phần chứa bánh lọc tiết diện $50,26 \times 10^{-2}$ m² và chiều dài 10×10^{-2} m. Phần đỡ vải lọc có mặt bích đường kính 8×10^{-2} m, lưới và cơ cấu chống đỡ vải

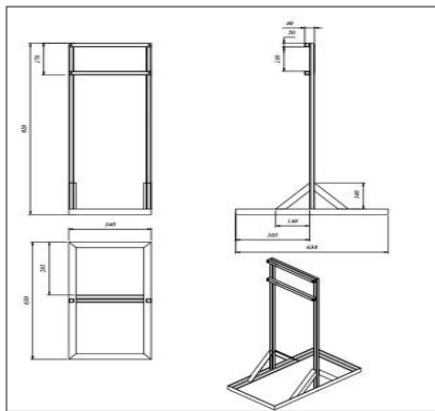
lọc (lưới có kích thước 2 mm) với kích thước ống tương tự phần chứa bùn đầu. Cuối cơ cấu có hệ thống van xả và ống thu nước lọc. Nước lọc được thu vào ống thủy tinh đặt trên cân điện tử. Mục đích là ghi lại lượng nước lọc theo thời gian. Trong quá trình thí nghiệm ngoài các yếu tố điều kiện về độ hạt đưa tuyển, chi phí chất trợ lọc, có thể chỉnh được các thông số khác như sau: Chiều cao bánh lọc (thông qua thay đổi khối lượng vật liệu vào lọc); Nồng độ pha rắn (thông qua thay đổi lượng nước để trộn với bột thành huyền phù); Áp suất lọc (bằng việc thay đổi van điều áp trên ống Nutsche).



Hình 4. Cấu tạo hệ ống lọc dạng Nutsche

Hệ thống ống lọc chính bao gồm:

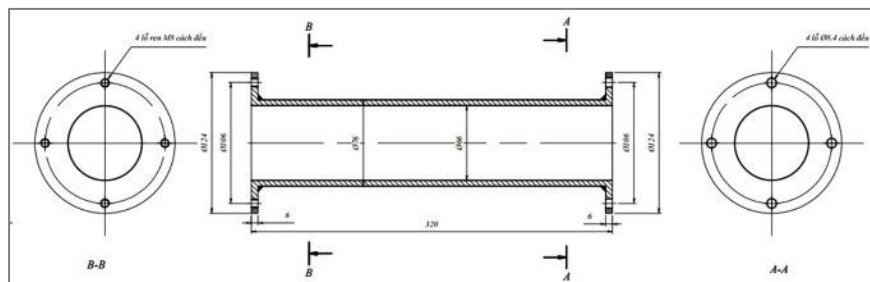
- Hệ khung đỡ máy lọc (Hình 5): làm bằng vật liệu thép không gỉ, mối hàn đều, không ngậm xỉ, đảm bảo kín, mài nhẵn cạnh, chiều cao 920 mm, chiều rộng 340 mm, chiều rộng chân đế 630 mm; trên thân máy có hàn các đầu chờ để bắt bu lông đai ốc hoặc mối hàn để đính thân máy lọc ống với khung.



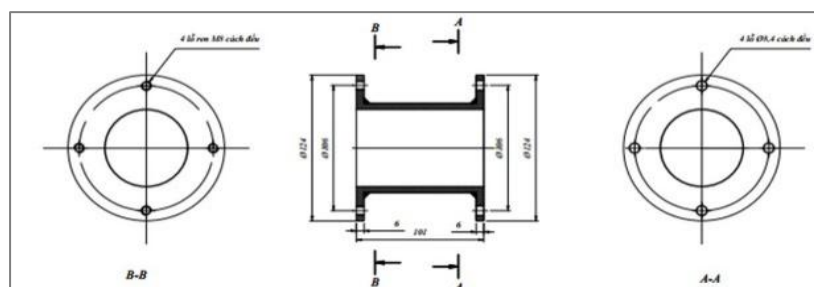
Hình 5. Kích thước khung đỡ ống

- Bộ phận ống (Hình 6) làm bằng thép không gỉ, vật liệu inox, thép không gỉ, mối hàn đều, không ngậm xỉ, mài nhẵn cạnh, chiều cao 320 mm; đường kính ngoài ống 76 mm; đường kính trong ống 66 mm; khoảng cách giữa các lỗ 106 mm; đường kính bích 124 mm, chiều dày bích 10 mm, khoan bốn lỗ đường kính 8 mm cách đều nhau ở hai đầu ống, có lắp gioăng chống hở khí.

- Bộ phận chứa bánh lọc (Hình 7): đây là bộ phận chứa bánh lọc sau khi hình thành từ bùn (huyền phù) của vật liệu. Dưới tác dụng của áp suất lọc, các hạt vật liệu sa lắng xuống lớp vải lọc và bị giữ lại đó trong khi nước lọc đi qua vải lọc ra ngoài. Tùy thuộc vào lượng pha rắn trong bùn, chiều dày của bánh lọc có thể mỏng hoặc dày và nằm trọn trong bộ phận chứa bánh lọc. Bánh lọc có dạng hình trụ với đường kính đúng bằng đường kính trong của ống hình trụ (đường kính 66 mm). Bộ phận chứa bánh lọc là một ống thép không gỉ, chiều dài 101 mm, đường kính ngoài 76 mm, đường kính trong 66 mm, chiều dày thép 10 mm, được kết nối với các phần khác bằng hệ thống bu lông đai ốc bắt vào các mặt bích. Các mặt bích gắn với ống bằng các mối hàn đều, không ngậm xỉ, mài nhẵn cạnh, đường kính mặt bích 124 mm; khoảng cách tâm lỗ để bắt bu lông 106 mm; khoan bốn lỗ đường kính 8 mm cách đều nhau, chiều dày 6 mm, có lắp gioăng chống hở khí. Các bộ phận của ống lọc khi nối lại với nhau phải đảm bảo kín tuyệt đối nhằm mục đích ngăn rò rỉ bùn, khí và tụt áp suất trong quá trình lọc.



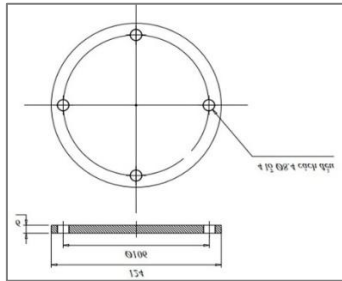
Hình 6. Bộ phận ống lọc



Hình 7. Bộ phận chứa bánh lọc



- Nắp ống lọc (Hình 8): mặt bích làm bằng thép không gỉ SUS 304, mài nhẵn cạnh, đường kính mặt bích 124 mm; khoảng cách lỗ 106 mm, chiều dày bích 10 mm, khoan 4 lỗ đường kính 8 mm cách đều nhau, có lắp gioăng chống hở khí.



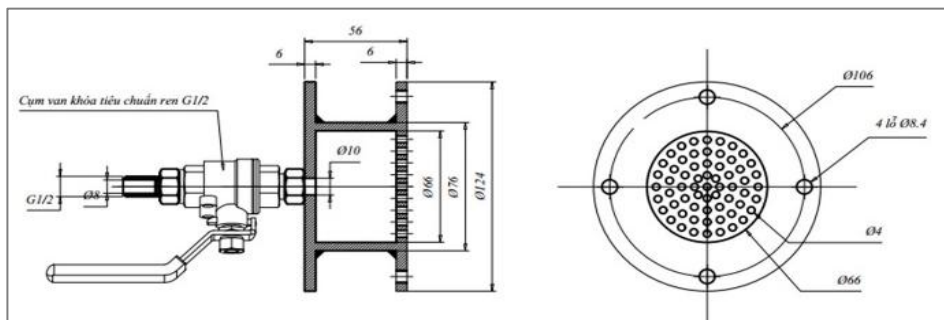
Hình 8. Hệ mặt bích làm nắp ống lọc

- Bộ phận đỡ vải lọc (Hình 9): làm bằng thép không gỉ, mối hàn đều, không ngâm xỉ, đảm bảo

kín, có lót gioăng chống hở khí; mài nhẵn cạnh, đường kính mặt bích 124 mm; khoảng cách tâm lỗ 106 mm, lưới đỡ vải lọc đường kính 66 mm, đường kính lỗ lưới 4 mm; chiều dày 6 mm, có lắp gioăng chống hở khí.

- Phễu thu nước lọc (Hình 9): chiều dài 56 mm; làm bằng thép không gỉ, mối hàn đều, không ngâm xỉ, đảm bảo kín, có lót gioăng chống hở khí; mài nhẵn cạnh, đường kính bích 124 mm, chiều dày bích 6 mm; đường kính ngoài 76 mm; đường kính trong 66 mm, khoảng cách tâm lỗ của mặt bích 106 mm, lưới đỡ vải lọc đường kính 66 mm, đường kính lỗ lưới 4 mm; chiều cao phễu 56 mm,

- Van xả nước lọc (Hình 9): kích thước đường kính danh nghĩa của van là 15 mm, chất liệu inox, môi trường sử dụng: dầu, khí, nước nóng, kiểu kết nối ren; nhiệt độ từ 0 đến 250 độ C, áp lực cho phép lên đến 16 bar hoặc theo tiêu chuẩn ren G1/2.



Hình 9. Bộ phận đỡ vải lọc, phễu thu nước lọc và van xả nước lọc

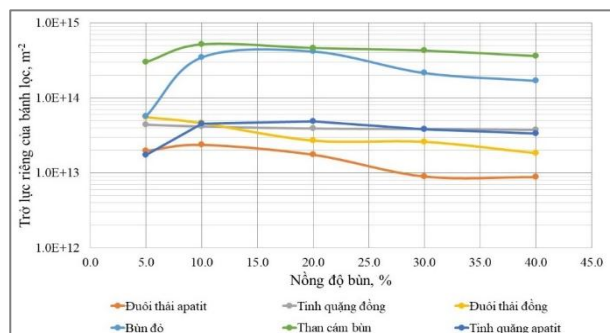
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Quá trình tiến hành thí nghiệm và thu thập số liệu trải qua các bước cơ bản sau: (1) Ứng với mỗi đơn vị thời gian t_i trong quá trình lọc, khối lượng nước lọc m_i được ghi lại; (2) Mẫu sau khi thí nghiệm được tháo ra, xác định chiều cao bánh lọc, cân khối lượng bánh lọc ướt; (3) Sấy bánh lọc ở nhiệt độ 50° C đến khối lượng không đổi.

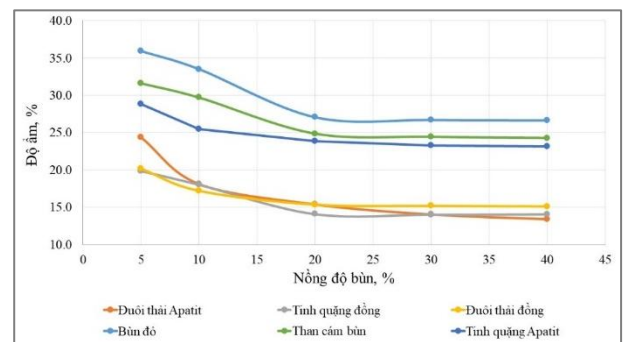
Các thông số thí nghiệm đầu vào thay đổi là nồng độ bùn, chiều cao bánh lọc, áp suất lọc, chất

trợ lọc và hàm lượng cấp hạt – 0,074 mm trong vật liệu đưa lọc. Thông số đầu ra tương ứng là trở lực lọc và độ ẩm vật liệu.

Kết quả tính toán thí nghiệm với các mẫu than bùn tuyển than Cửa Ông, quặng tinh đồng Tà Phời, quặng đuôi đồng Sin Quyền, bùn đỏ alumin Đắk Nông, quặng tinh và quặng đuôi apatit Cam Đường được trình bày từ Hình 10 đến Hình 19 [7].



Hình 10. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của nồng độ bùn với trở lực lọc

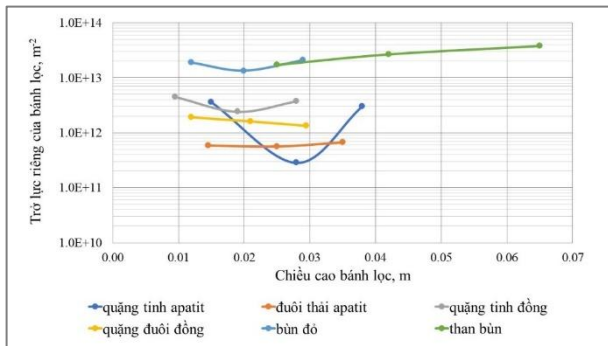


Hình 11. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của nồng độ bùn với độ ẩm



Hình 10 và Hình 11 cho thấy:

- Khi tăng nồng độ bùn từ 5% đến 40%, độ ẩm và trở lực riêng của bánh lọc có xu hướng giảm, giá trị trở lực lọc nằm trong khoảng $10^{13} - 3 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$. Ở nồng độ bùn rất loãng (5%), trở lực lọc có các quy luật không kiểm soát. Đối với tinh quặng apatit, giá trị này cao vượt trội, trong khi ở hầu hết các trường hợp khác, giá trị này lại thấp hơn so với khi lọc ở nồng độ bùn đặc hơn. Sự bất thường này được giải thích bởi ở nồng độ quá thấp, các hạt trong bánh lọc bị phân tầng mạnh mẽ, dẫn đến hiện tượng không đồng nhất trong bánh lọc. Giá trị trở lực lọc riêng vì thế được xác định không mang tính đại diện cho toàn bộ bánh lọc;

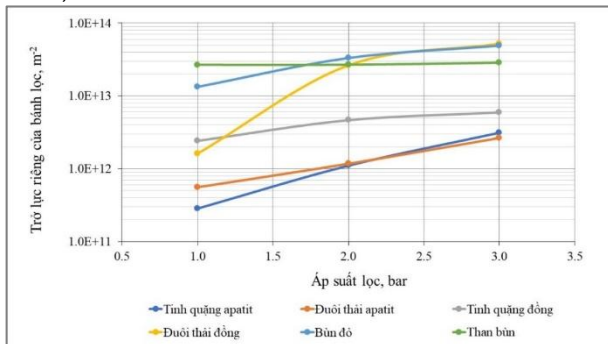


Hình 12. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của chiều cao bánh lọc với trở lực lọc

Hình 12 và Hình 13 cho thấy:

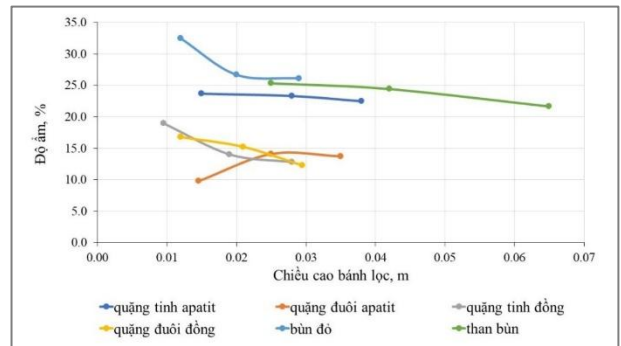
- Khi tăng chiều cao bánh lọc từ khoảng 10 mm đến khoảng 40 mm, trở lực lọc nhìn chung không có sự thay đổi. Điều này phù hợp với các lý thuyết trước đó nhận định rằng trở lực riêng của bánh lọc không bị ảnh hưởng bởi chiều cao bánh lọc;

- Các giá trị độ ẩm có sự thay đổi với xu hướng giảm song mức độ không thực sự rõ rệt. Độ ẩm vật liệu với các đối tượng dễ lọc như tinh quặng đồng, đuôi thái đồng, đuôi apatit, dao động khoảng 15 % trong khi các vật liệu còn lại dao động ở khoảng 25%;



Hình 14. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của áp suất lọc với trở lực riêng của bánh lọc

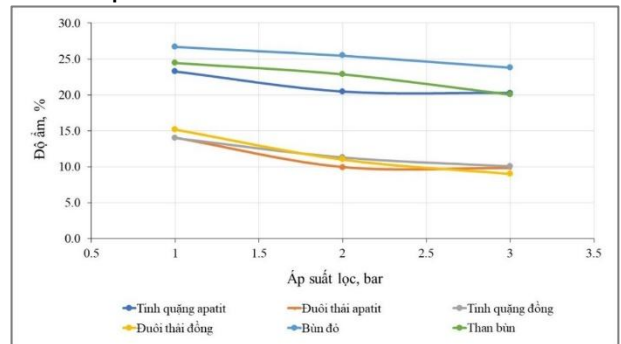
- Từ nồng độ bùn 20%, độ ẩm của các bánh lọc có xu hướng không thay đổi, hoặc thay đổi rất ít. Điều này giải thích do sự đồng nhất của bánh lọc đã đạt được khi lọc bùn ở nồng độ này. Khi bùn loãng hơn, sự hình thành bánh lọc chịu ảnh hưởng bởi sự sa lắng phân tầng, dẫn đến các hạt mịn nằm phía trên của bánh lọc và gây cản trở cho quá trình. Trở lực lọc có xu hướng giảm, trừ trường hợp nồng độ bùn quá loãng (5%) và vật liệu là bùn đỏ và than. Do vật liệu có hàm lượng $-0,02 \text{ mm}$ lớn, dễ bị cuốn theo dòng nước, đi và nước lọc hoặc bị lỗ lưới vải lọc. Các hạt dẹt, hạt sét nhiều nên cản trở quá trình lọc và làm quá trình bị rối loạn theo hướng mất kiểm soát.



Hình 13. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của chiều cao bánh lọc với độ ẩm

- Nhìn chung, yếu tố chiều cao bánh lọc không ảnh hưởng quá lớn đến trở lực riêng của bánh lọc và độ ẩm của vật liệu. Tuy nhiên giá trị trở lực của bánh lọc lại là tích số của trở lực riêng và chiều cao. Do đó, khi tăng chiều cao bánh lọc, đòi hỏi phải có áp lực lớn hơn được cấp vào thiết bị để đảm bảo năng suất lọc;

- Chiều cao bánh lọc là thông số quan trọng trong quyết định năng suất của quá trình lọc. Việc xác định chiều cao bánh lọc tối ưu cần được xác định có tính đến áp lực cấp liệu và thời gian của chu trình lọc.



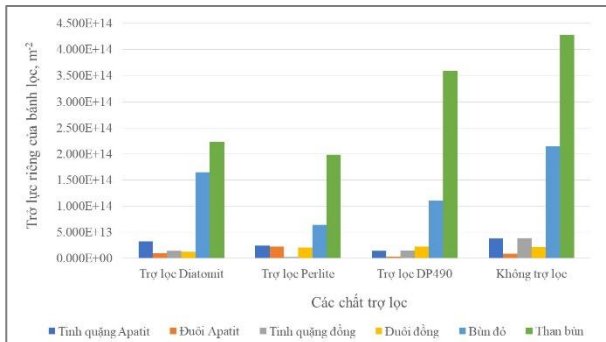
Hình 15. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ của áp suất lọc với độ ẩm



Hình 14 và Hình 15 cho thấy:

Khi tăng áp suất lọc, trở lực lọc có xu hướng tăng nhẹ ở tất cả các mẫu khảo sát. Xu hướng tăng này thể hiện rõ nhất ở mẫu đuôi đồng ($5,0 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$). Điều này chứng tỏ, mẫu quặng đuôi này đã có hiện tượng bị nén khi lọc ở áp suất cao. Tuy nhiên mức độ tăng này không phải là quá lớn. Các mẫu lựa chọn về cơ bản vẫn có thể lọc ở áp suất 3 bar;

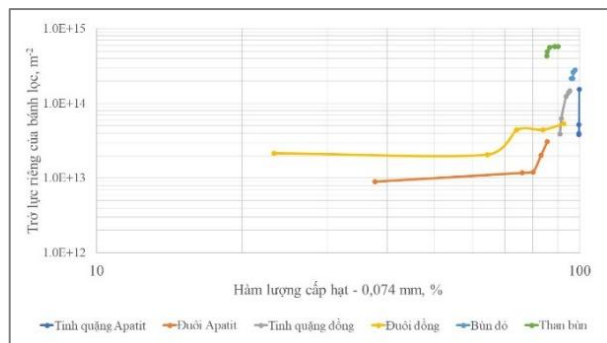
- Độ ẩm vật liệu khi lọc ở áp suất 2 bar và 3 bar không có sự thay đổi quá nhiều (dao động ở khoảng 10-15% với các vật liệu được đánh giá là



Hình 16. Trở lực riêng của bánh lọc đối với các mẫu khi sử dụng một số loại chất trợ lọc

Hình 16 và Hình 17 cho thấy:

- Việc bổ sung chất trợ lọc cho các đối tượng vật liệu nghiền cứu tỏ ra đạt hiệu quả cao hơn so với không sử dụng trợ lực lọc. Các chất Diatomit và Perlite làm tăng khả năng róc nước và tăng kích thước lỗ rỗng trong bánh lọc. Các chất này phù hợp với vật liệu có nguồn gốc quặng. Chất trợ lọc



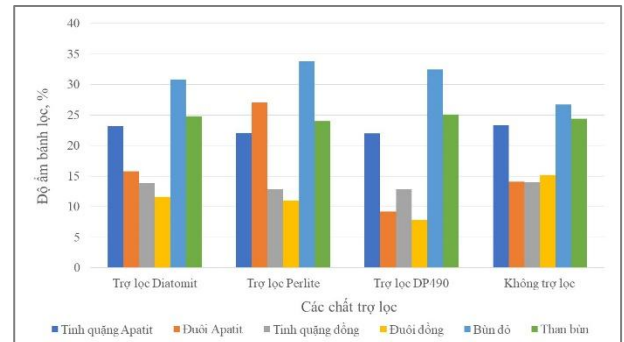
Hình 18. Trở lực riêng của bánh lọc đối với các mẫu nghiền cứu khi thay đổi các kích thước hạt

Hình 18 và Hình 19 cho thấy:

- Khi thay đổi hàm lượng cấp hạt mịn trong mẫu nghiền cứu, trở lực lọc và độ ẩm vật liệu có xu hướng tăng. Mức độ tăng của mỗi mẫu là khác nhau. Các mẫu đuôi đồng và đuôi apatit có

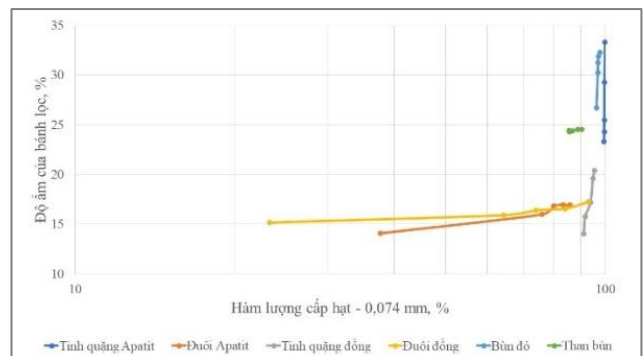
để lọc và 20-25% với vật liệu được đánh giá khó lọc hơn);

- Áp suất lọc không ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả của quá trình lọc tuy nhiên cũng cần có các lưu ý sau: (1) áp suất phải đủ lớn để thắng được các liên kết của nước với các hạt quặng (lực mao dẫn chiếm ưu thế); (2) phải lưu ý khi chọn áp suất quá cao (một số vật liệu có thể bị nén, làm tăng trở lực riêng và ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình lọc). Lựa chọn áp suất lọc tối ưu tùy thuộc vào loại vật liệu đem lọc, năng suất lọc yêu cầu.



Hình 17. Độ ẩm của bánh lọc đối với các mẫu nghiền cứu khi sử dụng một số loại chất trợ lọc

DP490 làm tăng khả năng kết bông hạt mịn, tuy nhiên chưa đạt được hiệu quả như kỳ vọng. Nguyên nhân của hiện tượng này là do thiếu thời gian khuấy trộn kết bông và DP 490 chưa thực sự phù hợp với đối tượng nghiền cứu. Do đó, với mỗi loại khoáng sản khác nhau, cần có các nghiên cứu kỹ hơn chất trợ lọc kết bông.



Hình 19. Độ ẩm của bánh lọc đối với các mẫu nghiền cứu khi thay đổi các kích thước hạt

mức tăng nhẹ, dao động ở mức lần lượt là 2×10^{13} đến $5 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$ và 1×10^{13} đến $3 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$;

- Độ ẩm của các mẫu sau lọc dao động trong khoảng 15%. Mức trở lực lọc và độ ẩm của than



bùn ở mức cao và ổn định dù độ hạt của vật liệu có thay đổi sau nghiền. Giá trị cao của trở lực lọc các mẫu than bùn là do lượng vật liệu sét mịn có trong than. Sự tăng trở lực lọc và độ ẩm của vật liệu xảy ra ở mẫu quặng tinh đồng và quặng tinh apatit. Trở lực lọc của các mẫu này tăng gấp 10 lần từ khoảng $4 \times 10^{-13} \text{m}^{-2}$, khi tăng hàm lượng cấp – 0,074 mm lên đến 95,57% (quặng tinh đồng) và 99,82% (quặng tinh apatit). Kết quả khảo sát độ ẩm cũng cho thấy độ ẩm vật liệu tăng cao đối với quặng tinh đồng, quặng tinh apatit và bùn đỏ, tương ứng là 20,39%, 33,33% và 32,26%.

4. KẾT LUẬN

➤ Thiết bị lọc cao áp dạng Nutsche là thiết bị thí nghiệm phù hợp cho việc xác định trở lực lọc riêng của bánh lọc các loại bùn mịn và siêu mịn, đặc biệt là đối tượng khoáng sản;

➤ Thiết bị nghiền cứu chế tạo gồm 7 phần chính kết hợp với hệ thống khí nén, cân điện tử và các thiết bị thí nghiệm phụ trợ khác. Thông số cơ bản của thiết bị là (1) chiều cao cột tuyển: $40 \times 10^{-2} \text{m}$; (2) tiết diện cột tuyển: $50,26 \times 10^{-4} \text{m}^2$; (3) lưu lượng khí: 50 L/phút; (4) áp suất khí nén: 0-6 at; (5) thiết bị hoạt động gián đoạn với năng suất lọc 200 gam/1 mẻ. Hình vẽ thiết bị và các chi tiết được đã được mô tả và tiến hành các thí nghiệm kiểm chứng;

➤ Khi tăng nồng độ bùn, trở lực lọc riêng nhìn chung có xu hướng giảm. Từ nồng độ bùn 20% trở

lên, mức độ giảm không rõ rệt do bánh lọc đã được hình thành đồng nhất. Độ ẩm vật liệu tối ưu ở vùng đồng nhất này dao động trong khoảng 15 – 25%. Một số trường hợp xuống thấp dưới 20%;

➤ Chiều cao bánh lọc là thông số quan trọng trong xác định năng suất của các thiết bị lọc. Việc tăng chiều cao bánh lọc không ảnh hưởng đến trở lực riêng của bánh lọc. Tuy nhiên trở lực của bánh lọc là tích số của trở lực riêng và chiều cao bánh lọc sẽ tăng nhanh. Điều này đòi hỏi phải khảo sát chế độ tối ưu để vừa đảm bảo năng suất và đảm bảo hiệu quả khử nước. Việc tính toán lựa chọn chiều cao bánh lọc nên được tính đến áp suất lọc phù hợp và năng suất mong muốn;

➤ Áp suất lọc không làm thay đổi trở lực riêng của bánh lọc song việc lựa chọn thông số này có thể ảnh hưởng đến năng suất lọc (cụ thể là thời gian hình thành bánh lọc). Ảnh hưởng của áp suất lọc đến độ ẩm vật liệu mang yếu tố tích cực. Cụ thể khi tăng áp suất lọc từ 1 bar lên 3 bar, độ ẩm vật liệu giảm khoảng 5% độ ẩm. Tuy nhiên cũng cần lưu ý rằng áp suất lọc không nên chọn lớn quá vì có thể sẽ xuất hiện trạng thái nén vật liệu (được biểu hiện bằng mức tăng trở lực lọc riêng nhanh). Điều này lại cản trở hiệu quả lọc (bao gồm hiệu quả khử nước và hiệu quả rửa). Áp suất lọc cũng phải đảm bảo đủ lớn để thắng được các lực liên kết giữa nước và các hạt khoáng vật trong bánh lọc (lực mao dẫn chiếm ưu thế chủ yếu trong trường hợp này) □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Thanh Hải (2022). Xác định lực cản riêng của bánh lọc đá vôi sử dụng thiết bị Nutsche. *Kỷ yếu hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2022)*, Hà Nội.
- [2]. Phạm Thanh Hải, Tạ Phương Anh, Phạm Thị Nhung, Phùng Tiến Thuật, Trần Văn Được, Vũ Thị Chinh (2024). Research on the factors affecting the product filtration efficiency in mineral processing plants. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, Số 65, kỳ 2, trang 76-85.
- [3]. Phạm Thanh Hải, Urs Peuker (2021). Khử nước bùn mịn bằng thiết bị lọc hơi nước cao áp. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất. Tập 62, số 3b*.
- [4]. Nguyễn Hoàng Sơn (2009). Bài giảng Khử nước – Khử bụi, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [5]. H. Anlauf (1994). Standard filter tests zur Bestimmung des Kuchen und Filtermediumwiderstandes bei der Feststoffabtrennung aus Suspensionen. *F & S Filtrieren und Separieren*, vol. 8, p. S. 63–70 und S. 116–126.
- [6]. Barua (2010). Experimental Study of Filter Cake Cracking During Deliquoring. *Scientia Pharmaceutica*, vol. 78, p. 661.
- [7]. W. F. Hess (1991). Handbuch Maschinen und Apparate zur Fest-flüssig-Trennung, Essen: Vulkan Verlag.
- [8]. Kwon. Y.-D. Kim. H.-I. Yim S-S (2001). Effects of pore size, suspension concentration, and pre-sedimentation on the measurement of filter medium resistance in cake filtration. *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 18, no. 5, pp. 741-749.
- [9]. E. Müller (1983). Mechanische Trennverfahren. Band 2, Frankfurt: Aarau: Salle u. Sauerländer.
- [10]. Sperry. DR.(1916). The principles of filtration. *Metallurgical and Chemical Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 198-203.



- [11]. VCI guideline, VDI 2762 (2010). Mechanical Solid - liquid separation by Cake Filtration, VDI 2762, Part 2: Determination of Filter Cake Resistance. Berlin: Beuth-Verlag: Berlin.
- [12]. M. Zogg (1987). Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik. Stuttgart: Teubner-Verlag.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cấp cơ sở của Trường Đại học Mỏ - Địa chất, mã số T23-30.

RESEARCH ON THE MANUFACTURE OF EXPERIMENTAL SCALE NUTSCHE-TYPE HIGH-PRESSURE FILTER FOR DEWATERING FINE PARTICLE SLUDGE OF SOME PROCESSING PLANTS

Thanh Hai Pham

Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 27/5/2025

Revised: 08/7/2025

Accepted: 15/7/2025

Corresponding author:

Email: phamthanhhai@humg.edu.vn

ABSTRACT

In the mineral processing industry, products need to be dewatered. Dewatering technology can be screening, centrifugation, sedimentation, filtration, drying, etc. Research on filtration in Vietnam, especially filtration of fine and ultrafine particle-size products of mineral processing, is still lacking. The specific resistance of filter cake and material moisture content are basic output indicators of the filtration test. However, there are still no technologies and equipment to determine these parameters. The article provides basic theoretical formulas to determine the filtration resistance of materials. This is the basis for determining filtration resistance by experimental methods, shortening analysis time. On that basis, a set of detailed designs of Nutsche-type filter experimental equipment is provided and described. This device has been used to study the influencing factors of the products of the separation plant such as particle size distribution, solid volume fraction, filter cake height, filtration pressure, the influence of filter aid on specific resistance cake, and moisture content of the material after filtration. The content of the article is a valuable reference when experimentally studying filtration parameters and is the basis for operating, and adjusting filtration technology, designing new industrial machine systems, or renovating old equipment.

Keywords: Nutsche filter, specific resistance cake, coal slurry, mineral ores, red mud.

@ Vietnam Mining Science and Technology Association