



# GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ THU HỒI APATIT TỪ QUẶNG ĐUÔI NHÀ MÁY TUYỂN APATIT BẮC NHẠC SƠN TRÊN THIẾT BỊ TUYỂN NỔI CỘT ERIEZ, CANADA

Phạm Đức Phong\*, Trần Thị Hiến, Trần Thị Thanh Phúc

Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim, 79 An Trạch, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 09/12/2024

Ngày nhận bài sửa: 10/01/2025

Ngày chấp nhận đăng: 12/01/2025

\*Tác giả liên hệ:

Email: phong@vimluki.vn

## TÓM TẮT

Hàng năm, có khoảng 1 triệu tấn quặng đuôi thải tại 03 nhà máy tuyển apatit Tầng Loồng, Cam Đường, Bắc Nhạc Sơn tỉnh Lào Cai được lưu trữ tại các hồ chứa. Trong đó, hàm lượng apatit trong quặng đuôi thải tại nhà máy tuyển Bắc Nhạc Sơn cao hơn cả với hàm lượng từ 6–8%  $P_2O_5$ . Giải pháp thu hồi apatit từ quặng đuôi thải các nhà máy tuyển đã được đưa vào kế hoạch thực hiện của các đơn vị sản xuất. Do vậy, công tác nghiên cứu tuyển thu hồi quặng apatit trong đuôi thải không chỉ mang ý nghĩa khoa học mà còn định hướng ứng dụng vào thực tế sản xuất, tận thu tài nguyên.

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu tuyển thu hồi apatit từ quặng đuôi nhà máy tuyển Bắc Nhạc Sơn ở quy mô phòng thí nghiệm trên thiết bị tuyển nổi cột. Kết quả nghiên cứu không chỉ đưa ra giải pháp kỹ thuật phù hợp để tận thu apatit từ quặng đuôi thải mà còn có ý nghĩa to lớn trong việc thu hồi tài nguyên khoáng sản trong bối cảnh nền kinh tế tuần hoàn, giảm diện tích các bãi chứa quặng thải và mang lại hiệu quả kinh tế cho doanh nghiệp.

**Từ khóa:** quặng đuôi apatit, tận thu apatit, tuyển nổi cột.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo Quyết định số 866/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng khoáng sản apatit thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 đưa ra sự cần thiết việc chế biến sâu, thu hồi tối đa và nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên khoáng sản gắn với đổi mới và hiện đại hoá công nghệ thăm dò, khai thác, chế biến tài nguyên khoáng sản trong quá trình chuyển đổi nền kinh tế đất nước theo hướng kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn, kinh tế cacbon thấp phù hợp với các cam kết quốc tế mà Việt Nam tham gia. Quyết định số 266/QĐ-HCVN ngày 02 tháng 10 năm 2024 về kế hoạch thực hiện quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và

sử dụng khoáng sản apatit thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 của Tập đoàn Hóa chất Việt Nam cũng đưa ra giải pháp “Nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật giảm hàm lượng  $P_2O_5$  trong quặng đuôi thải, đề xuất giải pháp, cơ chế chính sách xử lý hiệu quả quặng đuôi thải của các nhà máy tuyển”.

Hiện nay, Công ty TNHH MTV Apatit Việt Nam có 03 nhà máy tuyển quặng apatit loại III gồm: Nhà máy tuyển Tầng Loồng công suất 900.000 tấn/năm quặng tinh; Nhà máy tuyển Cam Đường công suất 120.000 tấn/năm quặng tinh; Nhà máy tuyển Bắc Nhạc Sơn công suất 350.000 tấn/năm quặng tinh. Tổng cộng 3 nhà máy có công suất 1.370.000 tấn/năm quặng tinh.



Mặc dù các nhà máy đã có những cải tiến về công nghệ, thiết bị, tuy nhiên hàm lượng apatit trong quặng đuôi thải vẫn còn cao. Hiện nay tại nhà máy tuyển quặng apatit loại III Bắc Nhạc Sơn, tỷ lệ thu hồi apatit trong sản phẩm quặng tinh còn thấp, quặng đuôi thải sau quá trình tuyển nổi có hàm lượng trung bình 6-8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cao hơn so với 02 nhà máy còn lại [3], [4].

Apatit trong quặng đuôi thải của nhà máy tuyển Bắc Nhạc Sơn xâm nhiễm mịn trong các khoáng vật khác, vì vậy để thu hồi apatit trong quặng đuôi thải cần nghiên cứu thành phần vật chất, mức độ xâm nhiễm và giải phóng khoáng vật apatit trong quặng đuôi thải nhằm thu hồi tối đa sản phẩm quặng tinh apatit.

Đối với các nghiên cứu tuyển quặng phong hóa hoặc xâm nhiễm mịn chứa nhiều các cấp hạt mịn, các cấp hạt này có tính nổi kém và ít khả năng tuyển chọn riêng. Hiện nay, phần lớn các nhà máy tuyển nổi sử dụng các ngăn máy tuyển nổi truyền thống, các hạt slam mịn chứa khoáng vật có ích không thể thu hồi và bị mất mát theo quặng thải. Ngoài ra, quá trình hấp phụ trên bề mặt các hạt mịn diễn ra nhanh hơn so với các hạt thô. Do vậy, thời gian tiếp xúc thuốc tuyển với các cấp hạt thô trong ngăn máy tuyển chưa đủ, tính

nổi của các cấp hạt này bị giảm dẫn đến hiệu suất thu hồi sản phẩm thấp [1], [2].

Trong bài báo này, tác giả trình bày kết quả nghiên cứu thu hồi apatit từ quặng đuôi thải nhà máy tuyển quặng apatit Bắc Nhạc Sơn trên thiết bị tuyển nổi cột ở quy mô phòng thí nghiệm. Thiết bị tuyển nổi cột có ưu điểm chọn lựa nổi bậc đối với cấp hạt mịn so với thiết bị tuyển truyền thống về chất lượng và độ thu hồi sản phẩm. Trên thế giới thiết bị tuyển nổi cột được sử dụng phổ biến để tuyển cấp hạt mịn 0,01-0,05 mm [5], [6]. Mục đích của nghiên cứu nhằm đưa ra giải pháp công nghệ tận thu tối đa apatit từ quặng đuôi thải sau khâu tuyển nổi, từ đó đưa ra kiến nghị vào thực tế sản xuất tại các nhà máy tuyển hiện nay [3].

**2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1. Mẫu nghiên cứu**

Mẫu nghiên cứu là đuôi thải của nhà máy tuyển quặng apatit Bắc Nhạc Sơn, tỉnh Lào Cai được lấy sau khâu tuyển vét của dây chuyền tuyển nổi. Mẫu được vận chuyển về Phòng Công nghệ Tuyển khoáng, Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim để tiến hành nghiên cứu. Kết quả phân tích thành phần vật chất của mẫu được trình bày trong các Bảng 1, 2, 3 và các Hình 1, 2.

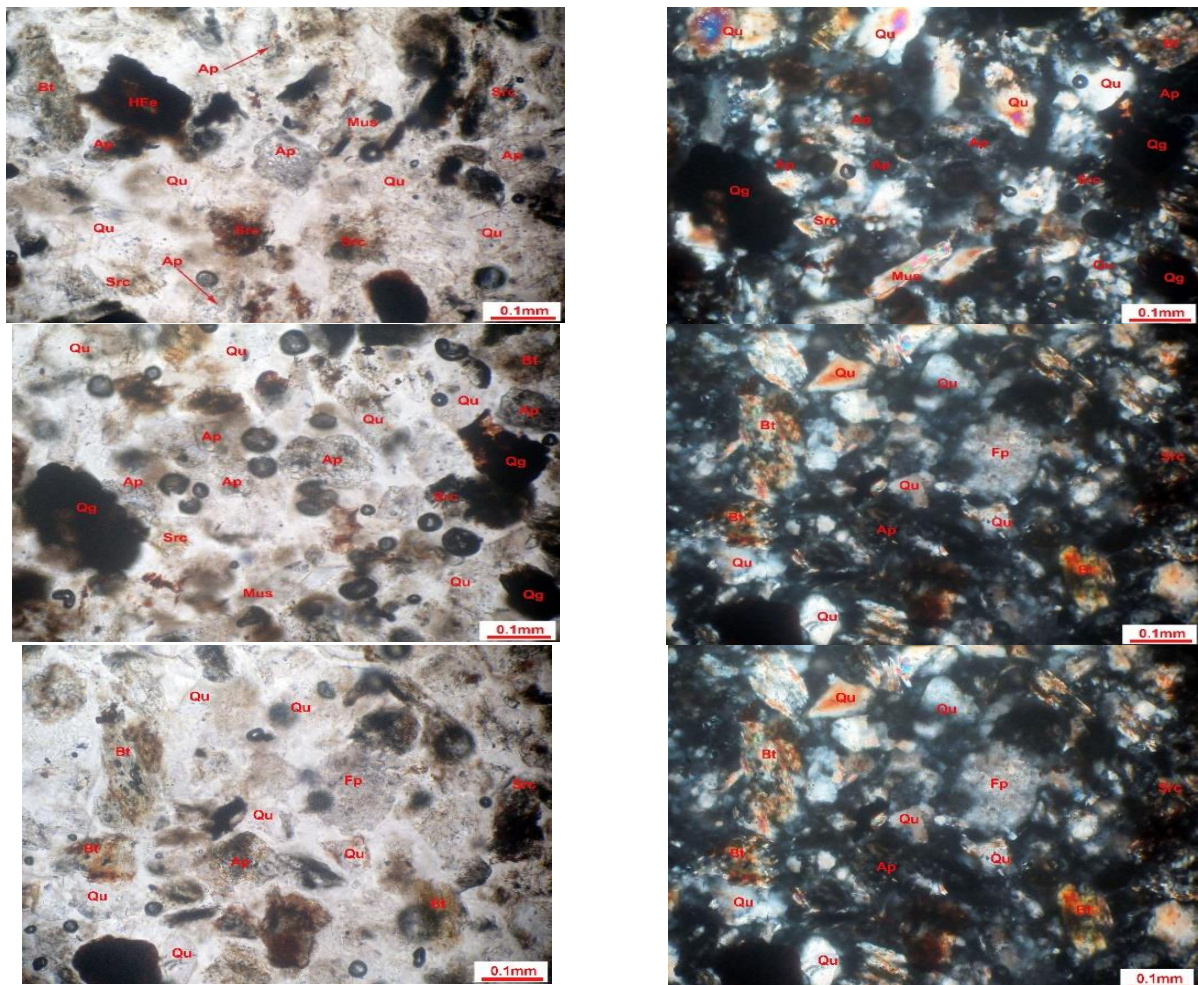
**Bảng 1. Thành phần hóa học mẫu nghiên cứu**

TT	Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị tính	Hàm lượng	TT	Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị tính	Hàm lượng
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	6,78	19	Cu	(ppm)	65,1
2	CaO		8,49	20	Ga		< 10
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,08	21	Ge		< 20
4	K <sub>2</sub> O		2,11	22	La		21,6
5	MgO		0,99	23	Li		14,2
6	MnO		0,59	24	Mo		< 5
7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		6,17	25	Nb		17,2
8	TiO <sub>2</sub>		0,49	26	Ni		30,1
9	Ag	(ppm)	< 2	27	Pb		43,3
10	As		102,4	28	Sb		<10
11	B		< 10	29	Sc		5,3
12	Ba		907,5	30	Sn		<10
13	Be		< 5	31	Sr		361,7
14	Bi		< 10	32	Ta		<10
15	Cd		3,2	33	V		97,4
16	Ce		35,3	34	W		<20
17	Co		21,6	35	Y		42,9
18	Cr		80,2	36	Zn		136,0



Bảng 2. Thành phần độ hạt mẫu nghiên cứu

TT	Cấp hạt, mm	Thu hoạch (%)		Hàm lượng P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Phân bố P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	
		Bộ phận	Lũy tích	Bộ phận	Bộ phận	Lũy tích
1	-0,25 + 0,125	3,77	3,77	10,95	6,67	6,67
2	-0,125 + 0,10	3,44	7,21	11,27	6,26	12,93
3	-0,10 + 0,074	12,05	19,26	11,02	21,45	34,38
4	-0,074 + 0,045	12,36	31,62	8,80	17,57	51,96
5	-0,045 + 0,03	25,99	57,61	4,45	18,68	70,64
6	-0,03 + 0,02	14,98	72,59	4,32	10,45	81,09
7	-0,02 + 0,01	25,53	98,12	4,19	17,28	98,38
8	-0,01	1,88	100,00	5,35	1,62	100,00

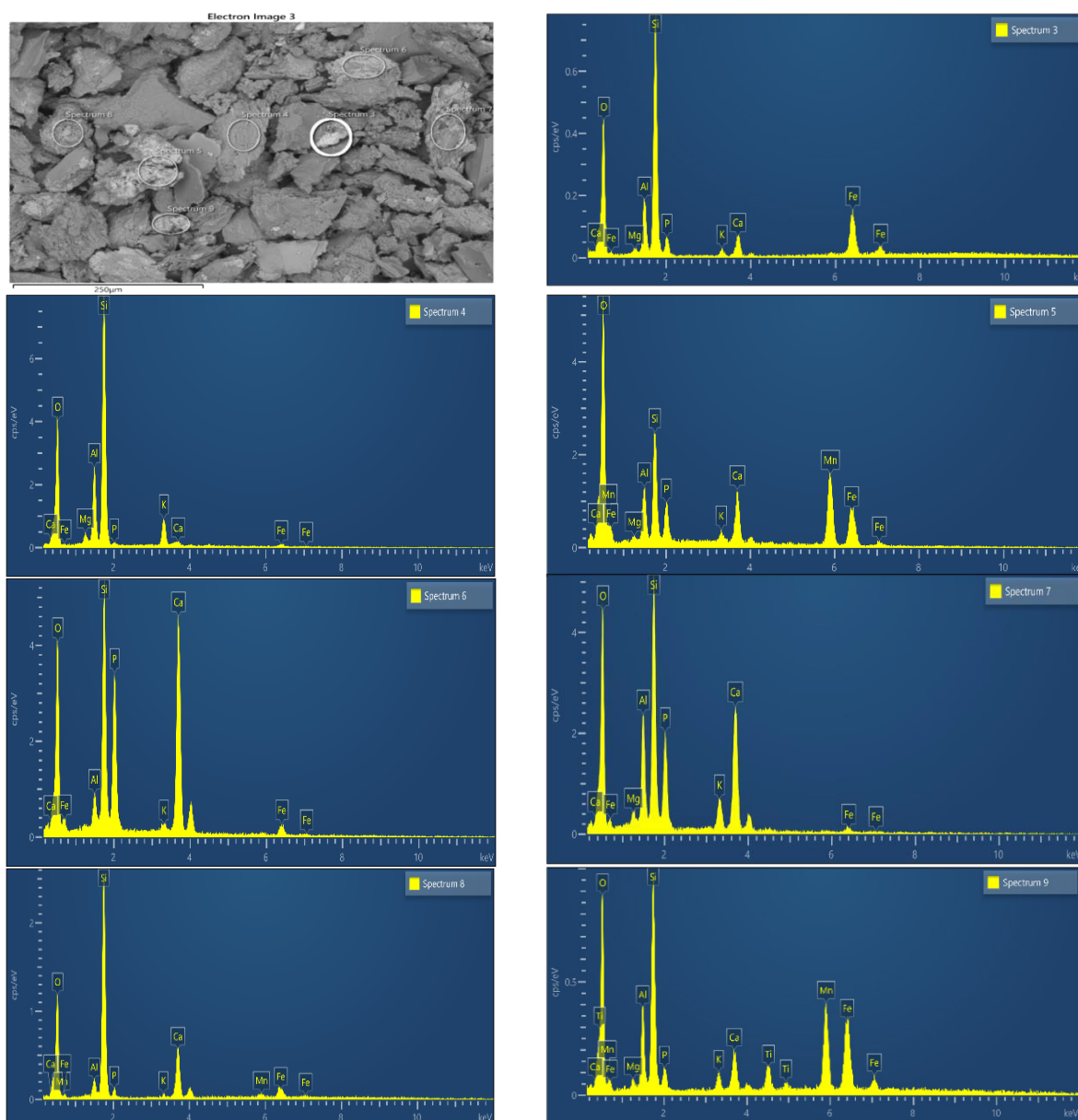


Hình 1. Hình ảnh các khoáng vật dưới kính soi thạch học.

(Ghi chú: Ap: Apatit; Qu: Thạch anh; Bt: Biotit; Mus: Muscovit; Src: Sericit; Fp: Feldspat; Qg: Quặng; HFe: Hydroxit sắt)

**Bảng 3. Thành phần khoáng vật mẫu nghiên cứu**

STT	Thành phần khoáng vật	Khoảng hàm lượng (~%)
1	Fluorapatit – $Ca_5(PO_4)_3F$	9 – 11
2	Illit (Mica) – $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	15 – 17
3	Kaolinit – $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$	6 – 8
4	Clorit – $Mg_2Al_3[AlSi_3O_{10}](OH)_8$	1 – 3
5	Thạch anh – $SiO_2$	58 – 60
6	Felspat – $K_{0.5}Na_{0.5}AlSi_3O_8$	1 – 3
7	Gotit – $Fe_2O_3.H_2O$	$\leq 1$

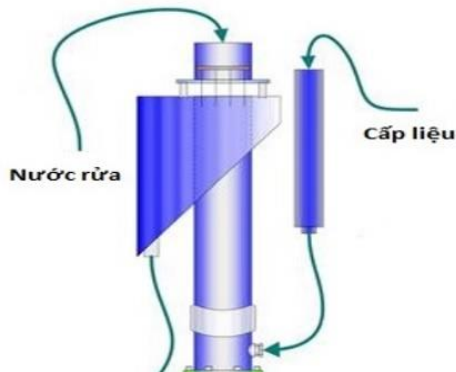


**Hình 2. Hình ảnh phân tích hiển vi điện tử mẫu nghiên cứu**  
 Nhận xét về kết quả nghiên cứu thành phần vật chất và định hướng công nghệ tuyển:

Kết quả nghiên cứu thành phần vật chất cho thấy: Mẫu có hàm lượng 6,17%  $P_2O_5$ , hàm lượng apatit có xu hướng giảm dần theo các cấp hạt, phân bố  $P_2O_5$  trong cấp hạt +0,074 mm là 34,38%. Kết quả phân tích thạch học và hiển vi điện tử: khoảng 80% khoáng vật apatit trong mẫu tồn tại dưới dạng các hạt có kích thước mịn -0,1 mm, 20% khoáng vật apatit còn lại có dạng hạt nằm xen lẫn trong hạt vụn có chứa sericit hoặc thạch anh – sericit, một vài hạt apatit có chứa bao thể thạch anh.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu thành phần vật chất, định hướng công nghệ cần nghiền mẫu đến độ hạt tối ưu nhằm phá vỡ, giải phóng liên kết giữa khoáng vật apatit với các khoáng vật khác, đồng thời lựa chọn thiết bị tiên tiến, phù hợp với tuyển cấp hạt mịn để thu được các chỉ tiêu công nghệ cao nhất.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu



- Phương pháp tổng hợp thống kê để đánh giá tổng quan công nghệ, thiết bị tuyển cấp hạt mịn quy mô phòng thí nghiệm và quy mô công nghiệp.

- Phương pháp thực nghiệm ở quy mô phòng thí nghiệm, phương pháp phân tích để xác định thành phần vật chất mẫu quặng, thành phần hóa các sản phẩm để đánh giá các chỉ tiêu công nghệ.

- Phương pháp tính toán, xử lý số liệu, dựng đồ thị minh họa, so sánh các kết quả thí nghiệm để lựa chọn điều kiện và chế độ tuyển tối ưu.

- Thiết bị tuyển nổi cột tại Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim do hãng Eriez, Canada sản xuất, có đường kính cột 4 inch (102 mm), chiều cao 6m gồm hệ thống điều khiển lưu lượng khí, áp suất khí và điều chỉnh lưu lượng nước rửa tự động. Hệ thống điều khiển bơm cấp liệu và bơm quặng thải tự động từ 0-3500 ml bùn quặng/ phút. Cảm biến đo chiều cao lớp bọt kết nối với hệ thống điều khiển để điều chỉnh chiều cao lớp bọt phù hợp với từng đối tượng quặng (Hình 3).



Hình 3. Thiết bị tuyển nổi cột quy mô phòng thí nghiệm.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi tiến hành các thí nghiệm xác lập chế độ tuyển tối ưu trên thiết bị tuyển nổi cột ở quy mô phòng thí nghiệm, nhóm tác giả đã xây dựng 02 sơ đồ công nghệ tuyển hợp lý đối với mẫu đuôi thải nhà máy tuyển apatit Bắc Nhạc Sơn tương ứng với 02 sản phẩm quặng tinh apatit: sản phẩm quặng tinh apatit loại 1 đạt hàm lượng  $\geq 32\%$   $P_2O_5$  cung cấp cho các nhà máy sản xuất phân bón (hàm lượng  $P_2O_5$  trong nguyên liệu đầu vào 32 – 33%); sản phẩm quặng tinh apatit loại 2 đạt hàm lượng  $\geq 25\%$   $P_2O_5$  cung cấp cho các nhà máy sản xuất phân lân nung chảy (hàm lượng  $P_2O_5$  trong nguyên liệu đầu vào 25–27%).

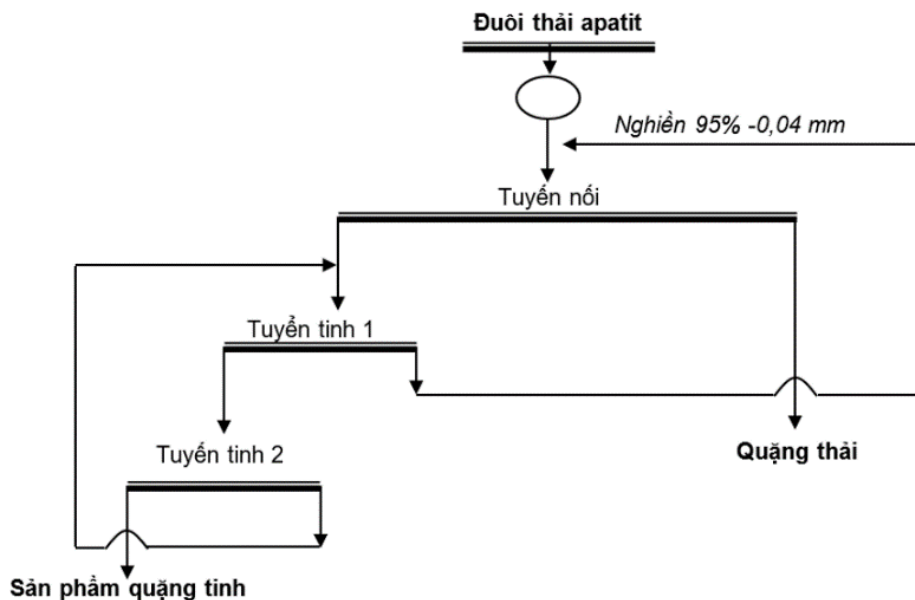
(1) Sơ đồ tuyển 1: Thu được sản phẩm quặng tinh apatit đạt hàm lượng  $\geq 25\%$   $P_2O_5$ . Sơ đồ công nghệ thể hiện tại Hình 4 với các chế độ tuyển tối ưu như sau:

- Khâu tuyển nổi chính: Độ mịn nghiền 95% cấp hạt -0,04 mm; Nồng độ tuyển 25%; Môi trường tuyển pH=8,5; Chi phí thuốc đê chìm  $Na_2SiO_3=250$  g/t; Chi phí thuốc tập hợp MD=800 g/t; Chi phí thuốc tạo bọt dầu thông 100g/t; Lưu lượng cấp liệu: 2.000 ml/phút; Lưu lượng khí cấp: 25 lít/ phút; Chiều cao lớp bọt: 120 cm; Chi phí nước rửa bọt: 500 ml/phút; - Khâu tuyển tinh 1: Môi trường tuyển pH=9; Chi phí thuốc đê chìm  $Na_2SiO_3=500$  g/t; Chi phí thuốc tập hợp MD=300 g/t;



- Khâu tuyển tinh 2: Môi trường tuyển pH=9; Chi phí thuốc đề chìm  $\text{Na}_2\text{SiO}_3=200$  g/t.

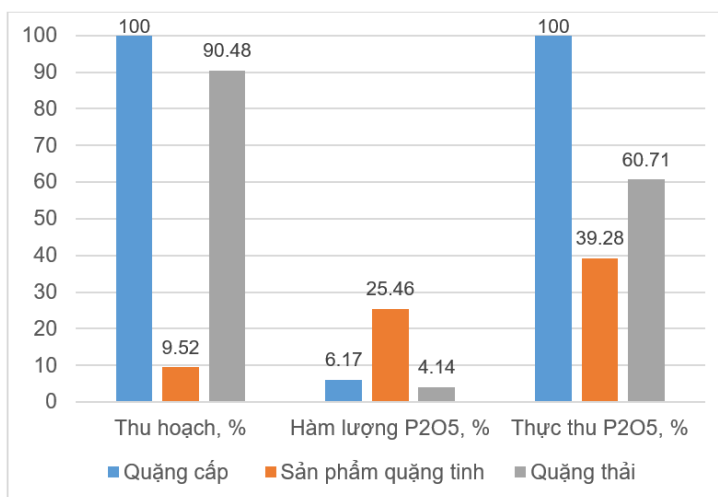
- Kết quả thí nghiệm tuyển Sơ đồ 1 được trình bày tại Bảng 4, đồ thị biểu diễn thể hiện tại Hình 5.



Hình 4. Sơ đồ tuyển quặng đuôi thải nhà máy tuyển apatit Bắc Nặc Sơn.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm tuyển Sơ đồ 1

TT	Tên sản phẩm	Thu hoạch (%)	Hàm lượng $\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	Thực thu $\text{P}_2\text{O}_5$ (%)
1	Sản phẩm quặng tinh	9,52	25,46	39,28
2	Quặng thải	90,48	4,14	60,71
Quặng cấp		100,00	6,17	100,00

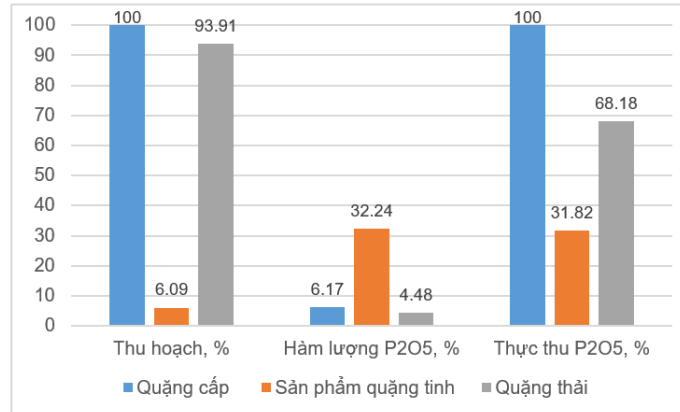


Hình 5. Đồ thị biểu diễn hàm lượng, thu hoạch, thực thu  $\text{P}_2\text{O}_5$  theo Sơ đồ 1.

(2) Sơ đồ tuyển 2: Thu được sản phẩm quặng tinh apatit đạt hàm lượng  $\geq 32\%$   $\text{P}_2\text{O}_5$ . Sơ đồ tuyển 2 khác sơ đồ tuyển 1 là bổ sung thêm 01 khâu tuyển tinh 3 với chế độ tuyển: Môi trường tuyển pH=9, chi phí thuốc đề chìm  $\text{Na}_2\text{SiO}_3=100$  g/t. Kết quả thí nghiệm tuyển Sơ đồ 2 được trình bày tại Bảng 5, đồ thị biểu diễn thể hiện tại Hình 6.

**Bảng 5. Kết quả thí nghiệm tuyển Sơ đồ 2**

TT	Tên sản phẩm	Thu hoạch (%)	Hàm lượng P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Thực thu P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
1	Sản phẩm quặng tinh	6,09	32,24	31,82
2	Quặng thải	93,91	4,48	68,18
Quặng cấp		100,00	6,17	100,00

**Hình 6. Đồ thị biểu diễn hàm lượng, thu hoạch, thực thu P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> theo Sơ đồ 2.**

#### 4. KẾT LUẬN

➤ Mẫu đuôi thải nhà máy tuyển apatit Bắc Nhạc Sơn có hàm lượng 6,17% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, kết quả phân tích thành phần độ hạt thấy rằng hàm lượng apatit có xu hướng giảm dần theo các cấp hạt, phân bố P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> trong cấp hạt +0,074 mm là 34,38%. Kết quả phân tích thạch học và hiển vi điện tử, khoảng 80% khoáng vật apatit trong mẫu tồn tại dưới dạng các hạt có kích thước mịn -0,1 mm, 20% khoáng vật apatit còn lại có dạng hạt nằm xen lẫn trong hạt vụn có chứa sericit hoặc thạch anh – sericit, một vài hạt apatit có chứa bao thể thạch anh. Định hướng công nghệ cần nghiên cứu mẫu đến độ hạt tối ưu nhằm phá vỡ, giải phóng liên kết giữa khoáng vật apatit với các khoáng vật khác, đồng thời lựa chọn thiết bị tiên tiến, phù hợp với tuyển cấp hạt mịn để thu được các chỉ tiêu công nghệ cao nhất.

➤ Thiết bị tuyển nổi cấp hạt mịn được lựa chọn là thiết bị tuyển nổi cột do hãng Eriez, Canada sản

xuất. Nhóm tác giả đã xây dựng giải pháp công nghệ gồm 02 sơ đồ tuyển để thu được 02 sản phẩm quặng tinh: (1) Sơ đồ 1 thu được sản phẩm quặng tinh có mức thu hoạch 9,52%, thực thu đạt 39,28%, hàm lượng đạt 25,46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> đáp ứng làm nguyên liệu để sản xuất phân lân nung chảy, (2) Sơ đồ 2 thu được sản phẩm quặng tinh có mức thu hoạch 6,09%, thực thu P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> đạt 31,82%, hàm lượng 32,24% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> làm nguyên liệu để sản xuất phân bón.

➤ Kết quả nghiên cứu không chỉ đưa ra giải pháp kỹ thuật phù hợp để tận thu apatit từ quặng đuôi thải mà còn có ý nghĩa to lớn trong việc thu hồi tài nguyên khoáng sản trong bối cảnh nền kinh tế tuần hoàn, giảm diện tích các bãi chứa quặng thải và hiệu quả kinh tế cho doanh nghiệp.

➤ Quặng thải sau quá trình tuyển tận thu cần nghiên cứu để làm nguyên liệu cho ngành vật liệu xây dựng □

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đinh Ngọc Đăng (2011). *Các phương pháp tuyển cấp hạt mịn*. Bài giảng cao học, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Hoàng Sơn (2012). *Kỹ thuật mới trong tuyển nổi*, Bài giảng cao học, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.



- [3]. Phạm Đức Phong và nnk (2024). *Kết quả nghiên cứu ứng dụng thiết bị tuyển nổi cột nhằm nâng cao hàm lượng quặng tinh và thực thu tuyển quặng xâm nhiễm mịn*. Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim.
- [4]. Nguyễn Thị Minh (2014). *Nghiên cứu các giải pháp công nghệ nâng cao và ổn định chất lượng tinh quặng apatit loại 3 Lào Cai đáp ứng yêu cầu sản xuất axit phosphoric và phân bón DAP*. Báo cáo đề tài cấp Nhà nước.
- [5]. J.A. Finch, J. Cilliers, J. Yianatos (2009). *Column Flotation*, in *Froth Flotation – A Century of Innovation*, SME, Colorado, USA, năm 2009.
- [6]. G. Harbort, D. Clarke (2017). Fluctuation in the popularity and usage of flotation column- an overview. *Minerals Engineering*.

#### LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu cấp Bộ Công Thương, mã số ĐTKHCN.006/23.

---

## TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR RECOVERING APATITE FROM TAIL WASTE OF BAC NHAC SON APATITE PROCESSING PLANT ON COLUMN FLOTATION EQUIPMENT ERIEZ, CANADA

Phong Duc Pham\*, Hien Thi Tran, Phuc Thanh Thi Tran

National Institute of Mining – Metallurgy Science and Technology, 79 An Trach, Ha Noi, Vietnam

#### ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 09/12/2024

Revised: 10/01/2025

Accepted: 12/01/2025

\* Corresponding author:

Email: phong@vimluki.vn

---

#### ABSTRACT

Every year, about 1 million tons of tailings from 03 apatite processing plants in Tang Loong, Cam Duong, and Bac Nhac Son in Lao Cai province are stored in tailings dams. Of which, the apatite content in tailings at Bac Nhac Son processing plant is the highest with a content of 6–8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The solution to recover apatite from tailings at processing plants has been included in the implementation plan of production units. Therefore, the research on the recovery of apatite in tailings is not only of scientific significance but also oriented towards practical application in production and resource recovery.

The article presents the results of the research on the recovery of apatite from tailings at Bac Nhac Son processing plant at the laboratory scale on a column flotation device. The research results not only provide suitable technical solutions to recover apatite from tailings but also have great significance in recovering mineral resources in the context of a circular economy, reducing the area of tailings dumps and economic efficiency for enterprises.

**Keywords:** apatite tailings, apatite recovery, column flotation.

---

@ Vietnam Mining Science and Technology Association