

ĐIỀU KHIỂN CHẤT LƯỢNG KHOÁNG SẢN BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRUNG HÒA

Nguyễn Văn Đức^{1,*}, Phạm Thu Hiền¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: nguyenvanducmct@qui.edu.vn

TÓM TẮT

Trong khai thác và chế biến khoáng sản, chất lượng quặng không đồng đều là một vấn đề lớn ảnh hưởng đến hiệu suất sản xuất và hiệu quả kinh tế. Một trong những phương pháp hiệu quả để kiểm soát chất lượng khoáng sản là phương pháp trung hòa, giúp điều chỉnh và cân bằng thành phần khoáng vật trước khi đưa vào quá trình tuyển khoáng. Bài báo này tập trung nghiên cứu phương pháp trung hòa nhằm nâng cao chất lượng khoáng sản, giảm biến động và tối ưu hóa hiệu quả khai thác thông qua các mô hình toán học, công nghệ giám sát và giải pháp điều chỉnh thực tế.

Từ khóa: Chế biến khoáng sản; chất lượng quặng; trung hòa quặng; phương pháp trung hòa.

1. KHÁI NIỆM VỀ TRUNG HÒA CHẤT LƯỢNG KHOÁNG SẢN

Trung hoà chất lượng khoáng sản là một khâu quan trọng trong dây chuyền sản xuất trên mỏ lộ thiên, nhằm mục đích đảm bảo độ sai lệch của chỉ tiêu chất lượng khoáng sản không vượt quá giá trị cho phép, quy định bởi điều kiện kỹ thuật cụ thể của khâu chế biến [1].

$$(\alpha_c - \alpha_i) \leq \Delta\alpha_i; \quad (1)$$

Trong đó:

α_c - Chỉ tiêu chất lượng khoáng sản (hàm lượng thành phần có ích hoặc có hại, thành phần khoáng vật, cỡ hạt...) được lấy làm chỉ tiêu kế hoạch trong một giai đoạn sản xuất nào đó.

α_i - Chỉ tiêu chất lượng thực tế sau khi trung hoà của một loại khoáng sản nào đó để đưa vào chế biến.

$\Delta\alpha_i$ - Độ lệch cho phép của chỉ tiêu chất lượng khoáng sản quy định trên cơ sở điều kiện kinh tế và kỹ thuật của khâu khai thác và chế biến khoáng sản.

Trung hoà khoáng sản là tổng hợp các thao tác công nghệ và biện pháp tổ chức nhằm tạo nên sự đồng nhất về thành phần hoá học hoặc thành phần vật chất, cỡ hạt, cấu tạo,... cho khối lượng khoáng sản nguyên khai trước khi đưa vào chế biến. Trung hoà khoáng sản bao gồm

hai thao tác chính là phối liệu và trộn. Phối liệu là xếp nối tiếp các lớp khoáng sản khác loại chất lượng theo một tỷ lệ nhất định, còn trộn là phân phối lại chúng trong không gian.

Tiêu chuẩn đánh giá mức độ đồng nhất của nguyên liệu là độ lệch trung phương giữa các lần đo kiểm tra chỉ tiêu chất lượng khoáng sản trước và sau khi trung hoà, thông qua chỉ tiêu mức độ trung hoà.

$$K_t = \left(1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) \cdot 100\%; \quad (2)$$

Trong đó: σ_1, σ_2 - độ lệch trung phương của hàm lượng kim loại hay một chỉ tiêu chất lượng nào đó sau khi trung hoà và trước khi trung hoà, %.

$$\sigma_{(1,2)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}{m-1}}; \quad (3)$$

Trong đó: σ_i - giá trị sai lệch của lần đo thứ i ; m - số lần đo.

2. CÁC HƯỚNG TRUNG HÒA CHẤT LƯỢNG KHOÁNG SẢN

2.1. Trung hoà khoáng sản trong mỏ

Trung hoà trong mỏ nhằm sơ bộ tạo nên sự đồng nhất chất lượng cho khoáng sản nguyên khai. Khi trong một gương có chứa nhiều loại khoáng sản có chất lượng khác nhau thì tiến hành trung hoà ngay trong gương đó bằng cách:

Điều chỉnh chiều dày và chiều dày lớp bóc của gàu xúc qua các loại khoáng sản.

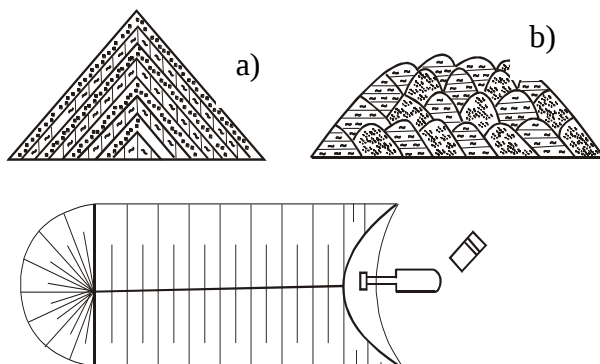
Điều chỉnh tỷ lệ các loại khoáng sản khi xúc và chất khoáng sản vào phương tiện vận tải.

Đắp đồng khoáng sản cạnh gương xúc (theo hình nón hoặc đắp xen kẽ, (hình 1-1) theo tỷ lệ từng loại khoáng sản trước khi xúc đổ vào phương tiện vận tải [5].

Khi chất lượng khoáng sản ở mỗi gương là đồng nhất nhưng giữa các gương là khác nhau thì tiến hành trung hoà giữa các gương. Khi khai thác các gương phức tạp thì đồng thời trung hoà trong gương và trung hoà giữa các gương. Việc trung hoà giữa các gương được tiến hành bằng cách đánh đồng trên bãi chứa tạm thời trong mỏ, sau đó xúc chuyển lên phương tiện vận tải để đưa về kho chứa hoặc điều phối khoáng sản từ các gương về kho chứa theo tỷ lệ các phương tiện vận tải vào nhận hàng ở các gương.

Trung hoà ở trong mỏ được phân biệt thành: Trung hoà tổng thể, trung hoà dài hạn, trung hoà thường xuyên và trung hoà điều phối.

Trung hoà tổng thể được tiến hành trong quá trình thiết kế và lập kế hoạch tổng thể khai thác khoáng sản. Ở giai đoạn này các giải pháp công nghệ và kỹ thuật cơ bản cũng như các thông số làm việc của mỏ đưa ra đều nhằm mục đích đảm bảo số lượng và chất lượng các loại khoáng sản theo yêu cầu cố định trong một năm, một giai đoạn khai thác hay một thời kỳ tồn tại của mỏ.



Hình 1-1. Trung hoà khoáng sản bằng cách đắp đồng theo: hình nón (a); đắp xen kẽ (b)

Trung hoà dài hạn được tiến hành khi đã thông qua kế hoạch tổng thể trên cơ sở các tài liệu thăm dò chi tiết và khai thác. Kế hoạch khai thác các loại khoáng sản với chất lượng xác

định được lập trong từng năm hoặc trong kế hoạch 5 năm.

Trung hoà thường xuyên được tiến hành trong từng năm, quý, tháng trên cơ sở tài liệu thăm dò khai thác, bằng cách dịch chuyển gương xúc theo các hướng có chất lượng khác nhau hoặc thay đổi trật tự khai thác các tầng khoáng sản có chất lượng khác nhau.

Trung hoà điều phối là tiến hành điều chỉnh xúc bóc trên các gương khai thác sao cho sản lượng ca hay ngày đêm của khoáng sản khai thác trong toàn mỏ phải đảm bảo chỉ tiêu chất lượng khoáng sản theo kế hoạch. Chỉ tiêu chất lượng khoáng sản trung bình của mỏ trong ngày đêm được tính [3].

$$\alpha_{tb} = \frac{\sum q_i \cdot \alpha_i}{\sum q_i}; \quad (4)$$

Trong đó: α_i - Chỉ tiêu chất lượng trung bình của khoáng sản trong các gương khai thác có khối lượng tương ứng q_i .

Việc điều khiển công tác mỏ theo chế độ khai thác chọn lọc và trung hoà khoáng sản trực tiếp trong mỏ có thể tiến hành theo hai cách:

Cách thứ nhất: Việc trung hoà khoáng sản được tiến hành theo bằng phương pháp điều tiết năng suất các máy xúc, muốn thế thì cần phải tạo nên một dự trữ khoáng sản cần thiết ở các gương để sẵn sàng đáp ứng nhu cầu của nhà máy tuyển, tức là phải có một dự trữ năng suất của các máy xúc khai thác. Số máy xúc tăng thêm được xác định theo điều kiện kỹ thuật cụ thể của mỏ.

Cách thứ hai: Trung hoà khoáng sản trong mỏ bằng cách điều phối theo khối lượng và chất lượng khoáng sản từ các gương khai thác và từ kho chứa với tỷ lệ nhất định, phù hợp với sản lượng của nhà máy tuyển. Khi đó kho đóng vai trò như một gương phụ và gọi là kho trung hoà. Kho trung hoà chứa cả khoáng sản giàu lẫn khoáng sản nghèo.

Để kho trung hoà thực hiện đúng chức năng điều tiết khối lượng và chất lượng của dòng khoáng sản nhập về hệ tiêu thụ đúng yêu cầu thì phải thỏa mãn những điều kiện sau:

1. Khối lượng khoáng sản từ các gương khai

thác và từ kho trung hòa nhập về hộ tiêu thụ phải đáp ứng khối lượng kế hoạch:

$$\Sigma q_{in} + q_{cn} = Q \quad (5)$$

Trong đó: q_{in} – khối lượng khoáng sản từ gương khai thác thứ i nhập về hộ tiêu thụ (tấn); q_{cn} – khối lượng khoáng sản nhập về hộ tiêu thụ từ kho trung hòa (tấn); Q – khối lượng khoáng sản theo kế hoạch cung cấp cho hộ tiêu thụ (tấn).

2. Tổng khối lượng khoáng sản từ một gương khai thác nhập về hộ tiêu thụ và về kho trung hòa phải bằng năng suất làm việc của máy xúc đó:

$$q_{in} + q_{ic} = q_i \quad (6)$$

Trong đó: q_{ic} – khối lượng khoáng sản từ máy xúc thứ i đưa về kho trung hòa (tấn); q_i – năng suất làm việc toàn phần của máy xúc đó (tấn);

3. Khối lượng khoáng sản từ kho trung hòa nhập về hộ tiêu thụ phải bằng tổng khối lượng khoáng sản từ tất cả các máy xúc khai thác nhập về kho.

$$q_{cn} = \sum_1^m q_{ic} \quad (7)$$

Trong đó:

m – số máy xúc (gương) khai thác hoạt động.

4. Chất lượng các dòng khoáng sản từ khai trường và từ kho trung hòa về hộ tiêu thụ phải phù hợp với chất lượng quy định (kế hoạch) [4]:

$$\frac{\sum_1^m q_{in} \cdot \alpha_i + q_{cn} \cdot \alpha_c}{Q} = \alpha_n \quad (8)$$

Trong đó: α_i , α_c và α_n – hàm lượng TPCI trong khoáng sản từ khai trường, từ kho trung hòa nhập cho hộ tiêu thụ và hàm lượng TPCI quy định (hàm lượng yêu cầu của hộ tiêu thụ).

Chỉ tiêu đánh giá tối ưu là khối lượng khoáng sản xuất từ kho trung hòa phải là nhỏ nhất hay xuất trực tiếp từ các gương khai thác phải là lớn nhất [4]:

$$q_{cn} \rightarrow \min \text{ hay } \sum_1^m q_{in} \rightarrow \max \quad (9)$$

Dung lượng của kho trung hòa đối với các mỏ than, có kể cả dự trữ nhằm đảm bảo điều kiện làm việc ổn định, có thể xác định theo biểu

thức [6]:

$$Q_{kh} = 1,7 \cdot A_q \cdot \sqrt{30(K_k^2 + K_d^2)}, \text{ ngđ} \quad (10)$$

Trong đó: A_q – sản lượng than ngày đêm của mỏ, ngđ/ngđ; K_d , K_k – hệ số không điều hòa của các gương khai thác và của phương tiện vận tải trong ngày đêm.

Đối với các mỏ quặng thì dung lượng của kho trung hòa có thể xác định theo biểu thức [2]:

$$Q_{kh} = T_e \cdot q_e \sqrt{\frac{1}{(1-\eta)^2}}, \text{ ngđ} \quad (11)$$

Trong đó: T_e – chu kỳ của độ lệch chỉ tiêu chất lượng trung bình so với giá trị cho phép (kế hoạch); q_e – sản lượng khai thác trong một ca, ngđ/ca; η – hệ số trung hòa kế hoạch.

$$T_e = \frac{2}{\sqrt{1-\Gamma_e}}$$

Trong đó: Γ_e – hệ số tương quan hàm lượng của khoáng sản trung hòa trong ca tiến hành thử mẫu.

2.2. Trung hoà khoáng sản ở kho trung gian

Kho trung gian có nhiệm vụ đảm bảo thành phần, chất lượng ổn định cho khối lượng khoáng sản trong một ngày đêm, tuần hoặc tháng. Kho giữ chức năng vừa là kho trung hoà vừa là dự trữ khoáng sản khai thác từ các khai trường chờ về. Kho được bố trí ngay trong mặt bằng công nghiệp của nhà máy tuyển, hoặc gần mỏ, hoặc ngay trong một mỏ nào đó, nơi chuyển tải từ hình thức vận tải này sang hình thức vận tải khác.

Kho trung gian có thể là tạm thời hoặc cố định. Kho tạm thời thường không đáp ứng nhiệm vụ trung hoà, còn kho cố định có điều kiện để thực hiện tốt việc trung hoà ở những mức độ cần thiết của khâu tuyển. Kho trung gian giúp cho việc tiến hành công việc nhịp nhàng và xuất khoáng sản trung hoà đều đặn cho xưởng tuyển trong thời gian lâu dài.

Công nghệ trung hoà trong kho như sau: để khoáng sản thành đồng theo một trình tự nhất định, theo một hướng, sau đó khi xuất khoáng sản cho xưởng tuyển thì tiến hành xúc theo hướng vuông góc với các lớp khoáng sản đã chất trong đồng nhằm tạo nên sự trộn đều các

lớp khoáng sản có chất lượng khác nhau khi đổ vào phương tiện vận tải.

Đối với khoáng sản kim loại màu, do yêu cầu cao về độ đồng nhất và chất lượng của khoáng sản đưa vào tuyển, nên người ta thường tiến hành xúc đảo nhiều lần trước khi xuất khoáng sản sang khâu chế biến.

Dung tích kho trung gian dao động trong khoảng 50-70 ngàn tấn, tùy theo sản lượng của mỏ. Kho phải đảm bảo dự trữ khoáng sản cho hai tuần sản lượng của xưởng tuyển. Khi có kho trung gian thì có thể giảm bớt hoặc không cần máy xúc dự trữ để tạo nên dự trữ tài nguyên trên gương khai thác.

Nhìn chung, chất lượng trung hoà ở kho trung gian cao hơn trung hoà ở mỏ 50 - 60%.

2.3. Trung hoà khoáng sản ở kho của xưởng tuyển

Do mức độ trung hoà khoáng sản ở kho trung gian chưa đạt yêu cầu, khoáng sản đưa về xưởng tuyển từ nhiều mỏ khác nhau, nên trước khi đưa tuyển hoặc luyện, người ta tiến hành trung hoà khoáng sản lần cuối. Các thiết bị trung hoà ở xưởng tuyển hoặc nhà máy luyện kim thường hiện đại và có chất lượng làm việc tốt hơn thiết bị trung hoà trong kho trung gian hay ở mỏ, do vậy tạo được sự đồng nhất cần thiết về chất lượng cho khoáng sản theo yêu cầu của khâu chế biến.

Trung hoà khoáng sản ở xưởng tuyển có thể tiến hành trong bun ke hoặc trong kho chứa. Trung hoà khoáng sản trong bun ke là trộn nguyên liệu trong quá trình chất và dỡ tải của bun ke. Khoáng sản có chất lượng khác nhau được chất vào bun ke, theo từng lớp nằm ngang nhờ băng tải hay máy cấp liệu. Khi tháo bun ke, các lớp khoáng sản sẽ chảy xuống đồng thời và tự trộn lẫn đều nhau qua cửa tháo.

Trong xưởng phải có hai bun ke để tiếp nhận và tháo khoáng sản thay đổi nhau. Phải tiếp nhận đầy bun ke mới được bắt đầu tháo và tương tự, phải tháo hết khoáng sản mới được bắt đầu tiếp nhận. Điều đó nhằm mục đích đảm bảo sự đồng nhất về chất lượng khi khoáng sản qua khỏi cửa tháo bun ke trên cơ sở tỷ lệ xác định của các loại khoáng sản đã chất vào bun

ke.

Nhược điểm của trung hoà trong bun ke là khối lượng trung hoà của mỗi đợt nhỏ và chất lượng trung hoà không đồng đều giữa các đợt.

Việc trung hoà khoáng sản trong kho được thực hiện bằng các thiết bị như băng tải, máy cấp liệu, máy xúc, máy bốc, máy ủi,... Khoáng sản được băng tải chất thành từng đống, các đống chất đầy bằng nhiều lớp khoáng sản có chất lượng khác nhau xen kẽ. Khoáng sản được trung hoà qua mỗi lần chuyển tải hoặc xúc trộn. Tùy theo loại khoáng sản, chất lượng của từng loại yêu cầu của thiết bị chế biến mà việc trung hoà được tiến hành qua một hay nhiều bước. Cũng giống như kho trung gian; kho của xưởng tuyển được xây dựng cố định, có dung tích đủ để chứa khoáng sản cho ít nhất là 2 tuần làm việc. Kho vừa giữ chức năng dự trữ vừa làm nhiệm vụ trung hoà. Chất lượng trung hoà trong kho của xưởng tuyển tốt hơn nhiều so với trung hoà ở mỏ hay kho trung gian.

3. THẢO LUẬN

Nhiều doanh nghiệp khai khoáng đã áp dụng phương pháp trung hòa trong điều khiển chất lượng khoáng sản nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất. Một số ứng dụng thực tế bao gồm:

*** Mô hình trung hòa tại các mỏ khai thác quặng kim loại:** Các công ty khai thác đồng, sắt, niken đã áp dụng mô hình điều tiết trung hòa để ổn định thành phần quặng.

Mô hình hóa trung hòa quặng tập trung vào mô phỏng các phản ứng hóa học giữa axit (thường là H_2SO_4 từ quá trình oxy hóa pyrit) và chất trung hòa. Các mô hình tính như phương pháp đánh giá Axit-Bazơ (Acid-Base Accounting - ABA) được dùng để xác định tiềm năng sinh axit (Acid Potential - AP) và khả năng trung hòa (Neutralization Potential - NP) của quặng, qua đó đánh giá cân bằng tổng thể. Tuy nhiên, ABA không xét đến yếu tố thời gian, dẫn đến nhu cầu phát triển mô hình động. Các mô hình động, như mô hình vận chuyển phản ứng (reactive transport models), tích hợp thủy văn, địa hóa và động học phản ứng để dự đoán sự lan truyền axit và hiệu quả trung hòa theo không gian và thời gian. Phần

mềm PHREEQC, MIN3P, hoặc TOUGHREACT thường được ứng dụng để mô phỏng các phản ứng phức tạp này, tính toán nồng độ ion, độ bão hòa khoáng vật, và sự biến đổi pH.

*** Ứng dụng AI và dữ liệu lớn trong trung hòa quặng:** Hệ thống giám sát dữ liệu giúp tự động điều chỉnh tỷ lệ pha trộn trong quá trình khai thác.

Hướng phát triển tương lai tập trung vào tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) để xử lý dữ liệu đa biến, kết hợp cảm biến IoT để cập nhật thời gian thực, và phát triển mô hình stochastic đánh giá rủi ro. Nghiên cứu vật liệu trung hòa mới (như biochar) cũng đặt ra yêu cầu cập nhật mô hình hóa.

*** Tối ưu hóa trung hòa tại các nhà máy tuyển khoáng:** Các đơn vị chế biến khoáng sản sử dụng mô hình trung hòa để đảm bảo đầu vào ổn định, giảm chi phí vận hành và tăng năng suất.

Trong bối cảnh khai thác khoáng sản, việc xử lý các vấn đề môi trường phát sinh từ quá trình oxy hóa quặng sulfua, dẫn đến hiện tượng thoát nước mỏ axit (Acid Mine Drainage - AMD), là yêu cầu cấp thiết. AMD không chỉ gây ô nhiễm nguồn nước mà còn phá hủy hệ sinh thái, đe dọa sức khỏe con người. Do đó, công tác trung hòa quặng-quá trình sử dụng các chất trung hòa như đá vôi, vôi sống (CaO), hoặc tro bay để kiểm soát độ pH-đóng vai trò trung tâm trong quản lý môi trường mỏ. Mô hình hóa quá trình này trở thành công cụ quan trọng giúp dự báo hiệu quả, tối ưu hóa chi phí và đảm bảo tuân thủ quy định.

4. KẾT LUẬN

Phương pháp trung hòa đóng vai trò quan trọng trong điều khiển chất lượng khoáng sản bằng cách giảm biến động thành phần khoáng vật, đảm bảo độ ổn định về hàm lượng các thành phần có ích, kích thước hạt và tỷ lệ các loại khoáng sản trước khi đưa vào chế biến.

Bài báo đã phân tích các cấp độ trung hòa khác nhau:

- **Trung hòa trong mỏ** giúp kiểm soát chất lượng quặng ngay từ khâu khai thác thông qua điều chỉnh phương pháp xúc bốc, phối liệu và đánh đồng hợp lý.

- **Trung hòa tại kho trung gian** giúp cân bằng thành phần quặng trong quá trình vận chuyển, giảm sự biến động trước khi quặng được đưa vào chế biến.

- **Trung hòa tại xưởng tuyển khoáng** là bước cuối cùng, đảm bảo nguyên liệu đầu vào ổn định cho quá trình tuyển và luyện kim, góp phần nâng cao hiệu suất chế biến và giảm tổn thất tài nguyên.

Việc áp dụng các mô hình toán học, công nghệ giám sát dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo giúp tối ưu hóa quy trình trung hòa, nâng cao chất lượng quặng và hiệu quả sản xuất. Đồng thời, phương pháp này còn có ý nghĩa quan trọng trong kiểm soát môi trường, đặc biệt là giảm thiểu tác động của hiện tượng thoát nước mỏ axit (AMD).

Tóm lại, việc áp dụng phương pháp trung hòa không chỉ giúp ổn định chất lượng khoáng sản mà còn tăng cường hiệu suất chế biến, giảm chi phí vận hành và tối đa hóa lợi nhuận cho ngành công nghiệp khai thác khoáng sản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hồ Sĩ Giao, 1999. *Thiết kế mỏ lộ thiên*. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
- [2]. Hồ Sĩ Giao, Bùi Xuân Nam, 2009. *Nâng cao chất lượng khoáng sản trong khai thác lộ thiên*. Nhà xuất bản Bách Khoa, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Văn Đức, Vũ Đình Trọng, 2013. *Điều khiển chất lượng khoáng sản thông qua bài toán điều tiết năng suất máy xúc trên các gương khai thác*. Tập san QUI
- [4]. Hồ Sĩ Giao, Bùi Xuân Nam và nnk 2017. *Khai thác quặng lộ thiên (Exploiting ores by surface mining method)*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội,
- [5]. *Cẩm nang khai thác mỏ lộ thiên*, 2006 Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội,

- [6]. Nguyễn Tuấn Thành, 2021. *Nghiên cứu xác định chiều sâu khai thác lộ thiên hợp lý cho các mỏ đá xây dựng khu vực Nam Bộ*: Luận án tiến sĩ kỹ thuật

Thông tin của tác giả:**ThS. Nguyễn Văn Đức**

Khoa Mỏ & Công trình, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).0904.645.672 - Email: nguyenvanducmct@qui.edu.vn

ThS. Phạm Thu Hiền

Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).0915.469.068 - Email: phamthuhien@qui.edu.vn

CONTROLLING MINERAL QUALITY BY NEUTRALIZATION METHOD

Information about authors:

Nguyen Van Duc, MEng., Quang Ninh University of Industry email: nguyenvanducmct@qui.edu.vn

Pham Thu Hien, MEng., Quang Ninh University of Industry Email: phamthuhien@qui.edu.vn

ABSTRACT:

In mineral extraction and processing, the uneven quality of ore is a significant issue that affects production efficiency and economic effectiveness. One effective method for controlling mineral quality is the neutralization method, which helps adjust and balance the mineral composition before it enters the beneficiation process. This paper focuses on researching the neutralization method to enhance mineral quality, reduce variability, and optimize extraction efficiency through mathematical models, monitoring technologies, and practical adjustment solutions.

Keywords: Mineral processing; ore quality; ore neutralization; neutralization method

REFERENCES

- [1]. Ho Si Giao, 1999. *Design of Open-Pit Mines*. Education Publishing House, Hanoi.
- [2]. Ho Si Giao, Bui Xuan Nam, 2009. *Enhancing Mineral Quality in Open-Pit Mining*. Bach Khoa Publishing House, Hanoi.
- [3]. Nguyen Van Duc, Vu Dinh Trong, 2013. *Controlling Mineral Quality through the Productivity Regulation Problem of Excavators in Mining Faces*. QUI Journal.
- [4]. Ho Si Giao, Bui Xuan Nam et al., 2017. *Exploiting Ores by Surface Mining Method*. Science and Technology Publishing House, Hanoi.
- [5]. *Handbook of Open-Pit Mining*, 2006. Science and Technology Publishing House, Hanoi.
- [6]. Nguyen Tuan Thanh, 2021. *Research on Determining the Reasonable Depth of Open-Pit Mining for Construction Stone Mines in the Southern Region*: Doctoral Dissertation in Engineering.

Ngày nhận bài: 06/03/2025;

Ngày gửi phản biện: 09/03/2025;

Ngày nhận phản biện: 10/03/2025;

Ngày chấp nhận đăng: 17/03/2025.