



LIÊN HIỆP CÁC HỘI KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT VIỆT NAM
HỘI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ MỎ VIỆT NAM



TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT MỎ TOÀN QUỐC LẦN THỨ XXIX

ĐỘT PHÁ PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG

**KHOA HỌC, CÔNG NGHỆ, ĐỔI MỚI SÁNG TẠO VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ
TRONG NGÀNH CÔNG NGHIỆP MỎ VÀ NĂNG LƯỢNG VIỆT NAM**

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
ĐÀ NẴNG - 2025**



11. Cơ khí Than - Khoáng sản - Thành tựu, bài học và định hướng phát triển, đổi mới 143
Mai Ngọc Thạch, Hứa Ngọc Sơn, Tạ Ngọc Hải
12. Đột phá công nghệ trong khai thác dầu khí phi truyền thống: bài học từ Hoa Kỳ 157
Bùi Thanh Bình
13. Ứng dụng Big data, AI, IOT và Blockchain trong khai thác thông minh, giám sát an toàn và truy xuất nguồn gốc tài nguyên 173
Hoàng Hùng Thắng, Đặng Đình Đức, Khương Phúc Lợi, Lưu Quang Thủy, Hoàng Văn Nghi
14. Định hướng phát triển công nghệ Titan Việt Nam 184
Trương Đức Chính
15. Chế biến khoáng sản tiết kiệm năng lượng và thân thiện môi trường trong kỷ nguyên chuyển đổi số 193
Nhữ Thị Kim Dung, Vũ Thị Chinh, Phạm Thị Nhung
16. Công nghệ khai thác đất hiếm – Xu hướng toàn cầu và mô hình phù hợp cho Việt Nam 202
Trần Quang Hiếu, Nguyễn Văn Đức
17. Triển khai thực hiện Luật Địa chất và khoáng sản - Lộ trình số hóa cho doanh nghiệp ngành khai khoáng 219
Lại Hồng Thanh
- PHẦN II. NHỮNG THÀNH TỰU NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG**
18. Công tác Chuyển đổi số trong Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam giai đoạn 2025 - 2030 231
Nguyễn Trọng Tuyền
19. Chuyển đổi số và ứng dụng AI trong khai thác dầu khí Việt Nam: Thực trạng và định hướng phát triển 242
Đinh Đức Huy, Nguyễn Minh Quý, Phạm Trường Giang, Nguyễn Việt Trung, Phan Ngọc Trung, Nguyễn Hồng Minh
20. Chuyển đổi số với mô hình thông tin công trình (BIM), mô hình thông tin khai thác mỏ (MIM) 253
Phạm Tú Phương, Nguyễn Quỳnh Liên
21. Nghiên cứu khả năng áp dụng mô hình cơ giới hóa đồng bộ cho điều kiện vĩa dốc $35 \div 55^\circ$ tại các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh 266
Đỗ Văn Hoàng, Phan Văn Việt, Trần Minh Tiến
22. Nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ số trong giám sát, nhận diện, cảnh báo cho công tác xúc bốc - vận tải trên các mỏ lộ thiên thuộc TKV 281
Đoàn Văn Thanh, Đỗ Văn Triều, Đặng Tiến Anh, Đinh Bá Lâm, Trần Đình Bảo



CHẾ BIẾN KHOÁNG SẢN TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG VÀ THÂN THIỆN MÔI TRƯỜNG TRONG KỶ NGUYÊN CHUYỂN ĐỔI SỐ

Nhữ Thị Kim Dung¹, Vũ Thị Chinh¹, Phạm Thị Nhung¹

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

*Email: nhuthikimdung@humg.edu.vn

Tóm tắt:

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và chuyển đổi số, ngành công nghiệp chế biến khoáng sản đang đứng trước yêu cầu cấp bách phải đổi mới công nghệ theo hướng tiết kiệm năng lượng và giảm thiểu tác động môi trường. Việc ứng dụng các công nghệ số như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), phân tích dữ liệu lớn (Big Data) và tự động hóa (Automation) đang giúp tối ưu hóa quy trình chế biến khoáng sản. Nhờ các hệ thống giám sát và điều khiển thông minh, các nhà máy chế biến khoáng sản có thể quản lý tiêu thụ năng lượng hiệu quả hơn, giảm tổn thất nhiệt và điện trong các khâu nghiền, tuyển khoáng. Đồng thời, công nghệ số còn giúp nâng cao khả năng tái sử dụng nước, giảm lượng chất thải và khí thải độc hại ra môi trường. Chuyển đổi số không chỉ mang lại lợi ích kinh tế mà còn góp phần quan trọng trong việc xây dựng ngành công nghiệp chế biến khoáng sản bền vững, góp phần thực hiện các cam kết về giảm phát thải khí nhà kính và bảo vệ môi trường. Việc tiếp tục đầu tư vào công nghệ và đào tạo nhân lực số là chìa khóa để ngành chế biến khoáng sản đáp ứng các yêu cầu khắt khe về bảo vệ môi trường và phát triển xanh trong tương lai.

Từ khóa: Chế biến khoáng sản, chuyển đổi số, công nghệ, môi trường, năng lượng.

1. Giới thiệu

Khoáng sản là yếu tố thiết yếu đối với sự tồn tại của loài người, và một số loại đóng vai trò then chốt trong sự phát triển của công nghệ hiện đại và thân thiện với môi trường. Nhu cầu toàn cầu về nguyên liệu thô tiếp tục gia tăng, trong khi một số mặt hàng có nguy cơ trở nên khan hiếm. Việc đảm bảo nguồn cung nguyên liệu thô bền vững (kim loại và khoáng sản) đã trở thành mối quan tâm đáng kể đối với các ngành như ô tô, hàng không vũ trụ và năng lượng tái tạo. Với sự xuất hiện của nền kinh tế

tuần hoàn, các nguyên liệu thô, bao gồm cả những nguyên liệu sử dụng trong công nghệ cao, có thể được thu hồi thông qua tái chế [1]. Tuy nhiên, ngay cả khi tỷ lệ tái chế đạt 100%, nền kinh tế tuần hoàn vẫn không thể là nguồn duy nhất cho nguyên liệu thô. Do đó, nguồn cung sơ cấp vẫn sẽ đóng vai trò then chốt trong nền kinh tế toàn cầu.

Trong ngành khai thác và chế biến khoáng sản, tính bền vững được tối ưu hóa bằng cách tối ưu quá trình khai thác sao cho lợi ích xã hội được tối đa hóa, đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực. Nhiều yếu tố khác có

thể cũng được tối ưu như: quy hoạch, quản lý và sử dụng tài nguyên, đặc biệt là các tài nguyên có nguy cơ cạn kiệt; tối đa hóa hiệu suất khai thác và chế biến; giảm thiểu cạn kiệt tài nguyên địa phương; nghiên cứu và phát triển các giải pháp thay thế; quy hoạch và vận hành dựa trên dữ liệu; và nâng cao khả năng tái chế.

Những thách thức chính mà các nhà máy tuyển khoáng hiện đại đang phải đối mặt là [2]: Quặng có hàm lượng thấp và khoáng vật phức tạp; tiêu thụ nhiều năng lượng; tiêu thụ nhiều nước; quản lý và xử lý bã thải quặng đuôi khó khăn,... Bên cạnh đó, sự cần thiết của một cách tiếp cận tích hợp về công nghệ - kinh tế và môi trường cùng với việc đáp ứng các mục tiêu phát triển bền vững đã khiến việc nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ sáng tạo, tiết kiệm năng lượng và thân thiện với môi trường trở thành một vấn đề quan trọng trong tuyển khoáng và luyện kim. Thành công của quá trình tuyển khoáng nằm ở việc tách kim loại có giá trị ra khỏi quặng đầu với mức đầu tư vốn thấp nhất có thể. Trong vấn đề này, việc loại bỏ quặng thải là hoàn toàn cần thiết đối với cả những người làm tuyển khoáng lẫn những người khai thác mỏ. Ngành công nghiệp cần cắt giảm chi phí năng lượng trên mọi mặt, chủ yếu là trong quá trình nghiền, bằng cách giảm lượng quặng thải trước khi nghiền.

Tại Việt Nam, ngành khai thác và chế biến khoáng sản đang đóng góp quan trọng vào GDP và xuất khẩu. Trong những năm gần đây, nhiều doanh nghiệp khai khoáng đã đầu tư đổi mới công nghệ để nâng cao tỷ lệ thu hồi và giảm thiểu tổn thất tài nguyên.

Chương trình Chiến lược địa chất, khoáng sản và công nghiệp khai khoáng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045 của Chính phủ [3] nhấn mạnh yêu cầu phát triển khai thác, chế biến đồng bộ với công nghệ hiện đại, hướng tới "kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn" và chuyển đổi số. Bộ Nông nghiệp và Môi trường (Bộ NN&MT) nhận định: khoa học và công nghệ đã thúc đẩy hiện đại hóa công nghệ trong khai thác và chế biến khoáng sản, góp phần nâng cao tỷ lệ thu hồi, giảm thất thoát tài nguyên, đồng thời sử dụng tiết kiệm, hiệu quả, gắn với bảo vệ môi trường, thích ứng với biến đổi khí hậu và hướng tới trung hòa các-bon. Đặc biệt, một số nhà máy lớn thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) đã áp dụng tự động hóa cao và "chuyển đổi số trong quá trình điều hành sản xuất nhằm tăng năng suất, tiết kiệm tài nguyên và hạn chế ô nhiễm môi trường". Tuy nhiên, nhiều cơ sở chế biến hiện vẫn sử dụng công nghệ lạc hậu, tiêu hao nhiều năng lượng và hóa chất, đồng thời phát sinh ô nhiễm môi trường (khí thải, nước thải, bã thải). Do vậy, chuyển đổi công nghệ theo hướng tiết kiệm năng lượng, giảm thiểu hóa chất và thân thiện môi trường là yêu cầu cấp bách để bền vững hóa ngành chế biến khoáng sản.

Bài báo này tổng hợp thông tin về chuyển đổi số trong chế biến khoáng sản, phân tích các mô hình ứng dụng công nghệ mới, đánh giá lợi ích tiết kiệm năng lượng, giảm ô nhiễm, và đề xuất khuyến nghị về chính sách nhân lực cho giai đoạn tới.

2. Chuyển đổi số trong ngành chế biến khoáng sản

Chuyển đổi số (Digital Transformation) là xu thế tất yếu của cuộc Cách mạng công



ngành lần thứ tư (hoặc Cách mạng công nghiệp 4.0), thể hiện bằng việc tích hợp các công nghệ kỹ thuật số (công nghệ thông tin, Internet vạn vật, dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo, tự động hóa...) vào quản lý, sản xuất và kinh doanh. Quá trình này nhằm nâng cao năng suất, tối ưu hóa chi phí và tăng cường khả năng giám sát, điều khiển theo thời gian thực. Chuyển đổi số là quá trình tích hợp công nghệ kỹ thuật số vào mọi lĩnh vực hoạt động nhằm thay đổi căn bản cách thức vận hành và tạo ra giá trị mới. Trong ngành công nghiệp chế biến khoáng sản, chuyển đổi số không chỉ là số hóa dữ liệu mà còn bao gồm việc triển khai các công nghệ như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật công nghiệp (IIoT), hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu (SCADA), bản sao số (Digital Twin), dữ liệu lớn (Big Data) và học máy (Machine Learning).

Các nền tảng này cho phép giám sát, phân tích và điều khiển theo thời gian thực các quá trình tuyển, luyện, phân tách và xử lý chất thải trong chế biến khoáng sản, từ đó nâng cao hiệu suất, tiết kiệm năng lượng và giảm tác động môi trường.

***Mô hình ứng dụng thực tiễn trên thế giới:**

(1) *Mô hình Smart Flotation Plant-Outotec (Phần Lan)*: Nhà máy tuyển nổi thông minh của Outotec áp dụng cảm biến trực tuyến, AI và điều khiển phản hồi tự động để duy trì hiệu suất tối ưu. Kết quả thử nghiệm tại một mỏ đồng ở Phần Lan cho thấy tiết kiệm 10–15% năng lượng và tăng 4% tỷ lệ thu hồi.

(2) *Digital Twin - Rio Tinto (Úc)*: Dự án Digital Twin giúp mô phỏng toàn bộ hệ

thống tuyển và luyện trong thời gian thực, hỗ trợ dự đoán sự cố, lập kế hoạch bảo trì, đồng thời giảm tiêu thụ năng lượng tới 12% trong dây chuyền nghiền tại mỏ Pilbara.

(3) *SCADA và hệ thống giám sát trung tâm - LKAB (Thụy Điển)*: Công ty LKAB đã số hóa toàn bộ quy trình từ khai thác đến tuyển luyện quặng sắt, tích hợp SCADA với AI để điều phối sản xuất và tự động hóa phân phối năng lượng, giúp giảm 8% điện năng tiêu thụ toàn nhà máy.

***Ứng dụng tại Việt Nam:**

(1) Masan High-Tech Materials đã đầu tư hệ thống giám sát và điều khiển trung tâm tích hợp tại mỏ Núi Pháo. Hệ thống này sử dụng SCADA và phần mềm phân tích dữ liệu lớn để theo dõi chất lượng quặng, kiểm soát quy trình tuyển và ra quyết định sản xuất theo thời gian thực. Theo báo cáo năm 2023, nhờ hệ thống này, tỷ lệ thu hồi wolfram tăng 6% trong khi chi phí năng lượng giảm 9% [4].

(2) TKV cũng đang triển khai thử nghiệm hệ thống điều hành sản xuất thông minh tại một số nhà máy tuyển than, với kỳ vọng cải thiện năng suất và giảm tiêu thụ điện, nước và hóa chất.

(3) Bộ NN&MT cũng khuyến khích xây dựng lộ trình chuyển đổi số ngành khai thác và chế biến khoáng sản, gắn với yêu cầu quản lý chặt chẽ, sử dụng hợp lý tài nguyên và tiết kiệm năng lượng.

Tóm lại, chuyển đổi số trong ngành chế biến khoáng sản là việc đưa công nghệ tiên tiến vào mọi công đoạn sản xuất - kinh doanh, từ việc số hóa dữ liệu địa chất, mô phỏng vận hành, đến ứng dụng hệ thống

thông minh để giám sát tiêu thụ năng lượng, môi trường và tối ưu hóa quy trình.

3. Tiêu thụ năng lượng và tác động môi trường trong chế biến khoáng sản

3.1. Thực tế về tiêu thụ năng lượng và tác động môi trường của ngành chế biến khoáng sản

Ngành chế biến khoáng sản là một trong những ngành tiêu thụ năng lượng lớn nhất toàn cầu. Theo thống kê của IEA (2021), ngành khai thác và chế biến khoáng sản chiếm khoảng 10% tổng năng lượng công nghiệp sử dụng toàn cầu, trong đó các quá trình nghiền, tuyển và luyện kim tiêu tốn nhiều năng lượng nhất. Tại Việt Nam, một số nhà máy nhôm và luyện đồng có mức tiêu hao điện năng lên đến 600 - 900 kWh/tấn sản phẩm. Tiêu thụ năng lượng cao không chỉ gây áp lực lên chi phí sản xuất mà còn làm gia tăng phát thải khí nhà kính. Trong luyện kim, đặc biệt là luyện gang thép, quá trình đốt than cốc và khí thiên nhiên thải ra lượng lớn khí CO₂, ngành thép đóng góp gần 7% tổng lượng phát thải CO₂ toàn cầu.

Ngoài năng lượng, ngành chế biến khoáng sản còn gây tác động lớn đến tài nguyên nước và môi trường sinh thái. Tuyển khoáng truyền thống sử dụng lượng nước rất lớn, đặc biệt trong tuyển nổi và tuyển rửa. Ước tính, mỗi tấn quặng được tuyển cần từ 1 - 3 m³ nước. Các nhà máy nhôm, như ở Tân Rai - Lâm Đồng, tiêu thụ hàng trăm nghìn m³ nước mỗi năm và thải ra lượng bùn đỏ khổng lồ, gây lo ngại về ô nhiễm đất và nước ngầm. Tình trạng chất thải rắn (quặng đuôi) và hóa chất trong

trọng. Nếu không được xử lý triệt để, các bãi thải có thể gây ô nhiễm lâu dài do rò rỉ kim loại nặng và chất độc vào môi trường. Do đó, xu hướng thế giới đã chuyển sang "khai khoáng xanh", tức là áp dụng công nghệ tiên tiến nhằm giảm phát thải carbon, giảm hóa chất và tăng hiệu quả tái sử dụng tài nguyên. Bên cạnh đó, việc áp dụng các giải pháp chuyển đổi số và công nghệ mới để giám sát, kiểm soát và tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng, nước và hóa chất là rất cần thiết. Các hệ thống quản lý năng lượng thông minh có thể giúp doanh nghiệp theo dõi dòng năng lượng theo thời gian thực, phát hiện điểm nóng tiêu hao, từ đó đưa ra chiến lược vận hành tối ưu.

3.2. Xu hướng chuyển sang khai thác và chế biến khoáng sản chọn lọc tiết kiệm năng lượng

Ngành khai thác và chế biến khoáng sản trong thế kỷ 21 đang đối mặt với một cuộc chuyển đổi kỹ thuật số và thuật toán trên toàn xã hội, thường được gọi là cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, mô tả quá trình tự động hóa sâu rộng hơn thông qua sự tương tác giữa con người và máy móc. Trong hầu hết các công ty khai khoáng, sự thay đổi về đặc điểm của các mỏ quặng và các xu hướng kinh tế - xã hội đã thúc đẩy hàng loạt sáng kiến công nghệ [5]. Những tiến bộ công nghệ phổ biến cũng đã làm nổi bật các khái niệm như trí tuệ nhân tạo, robot, Internet vạn vật và dữ liệu lớn.

Mặc dù vẫn còn tồn tại nhiều rào cản trong việc áp dụng rộng rãi các công nghệ kỹ thuật số và dữ liệu hiện đại, tương tự như các cuộc cách mạng công nghiệp trước đây,



mạng công nghiệp lần thứ tư có thể mang lại những cải thiện về hiệu quả vận hành cũng như năng suất. Các phương pháp tuyển khoáng tiết kiệm năng lượng có thể được kết hợp với tự động hóa, mang lại lợi ích trong việc nâng cao mức độ sử dụng và hiệu suất thiết bị. Ví dụ, nhà máy tuyển của Boliden (Thụy Điển) áp dụng mô hình AI và phân tích dữ liệu lớn giúp tiết kiệm 15% điện năng bằng cách tối ưu thời điểm vận hành thiết bị nghiền theo tải trọng quặng. Một hệ thống điều khiển tự động tuyển nổi tại mỏ El Teniente (Chile) giúp tiết kiệm 20% lượng thuốc tuyển và giảm một nửa lượng nước sử dụng nhờ điều chỉnh theo dữ liệu đầu vào từ cảm biến [6].

Tại Việt Nam, một số nhà máy đang thử nghiệm hệ thống định lượng và điều khiển hóa chất tuyển nổi tự động theo thời gian thực nhằm tránh lãng phí hóa chất và giảm ô nhiễm nước thải. Những tiến bộ này là minh chứng rõ ràng rằng công nghệ số có thể mang lại hiệu quả kinh tế và môi trường song hành trong ngành chế biến khoáng sản.

3.3. Công nghệ tuyển khoáng tiêu thụ ít nước và tối ưu chi phí nước

Các công nghệ tuyển khoáng truyền thống thường sử dụng nhiều nước cho quá trình rửa, tuyển nổi và phân tách. Tuy nhiên, trong bối cảnh khan hiếm nước và yêu cầu bảo vệ môi trường, các giải pháp tiết kiệm nước và tái sử dụng tuần hoàn đang được ưu tiên phát triển. Một trong những giải pháp nổi bật là tuyển khô (dry processing), tức sử dụng không khí thay vì nước để phân tách khoáng vật, đặc biệt phù hợp với các vùng khô hạn như Australia, Tây Phi.

Bên cạnh đó, hệ thống tuyển nổi thế hệ mới đã ứng dụng cảm biến đo lưu lượng và chất lượng nước, cho phép kiểm soát lượng nước sử dụng theo thời gian thực. Hệ thống xử lý nước sau tuyển với công nghệ lọc ép (filter press), lắng trọng lực và khử bùn bằng polymer cũng được triển khai nhằm thu hồi nước sạch để tuần hoàn sử dụng lại.

Các phát triển trong công nghệ tuyển khoáng tiết kiệm nước hoặc “khô” với khả năng cảm biến và định lượng đặc tính bề mặt của nguyên liệu thô được hỗ trợ bởi những cải tiến trong thiết kế hỗ trợ máy tính (CAD) và phần mềm, cùng với sự cải thiện đáng kể về độ phân giải quang học và phi quang học cũng như các mô-đun điện tử liên quan. Những tiến bộ này đã mang lại những thành công lớn cho công nghệ tuyển khoáng tiết kiệm nước. Robben và Wotruba (2019) [7] mô tả sự phát triển trong phân loại khoáng vật dựa trên cảm biến khô và kết luận rằng phân loại dựa trên cảm biến đang ngày càng được quan tâm hơn trong ngành khoáng sản.

Việc phân loại tự động tiết kiệm nước là rất cần thiết trong các hệ thống xử lý chất thải và ngành công nghiệp khoáng sản tương lai. Tùy vào bối cảnh, các kỹ thuật phân loại có thể được thiết kế một cách tinh vi hơn để phân loại nhiều loại khoáng sản hoặc ở dạng cơ bản nhất để tách riêng tuần tự các loại chất thải và khoáng sản khác nhau [8]. Tương lai của công nghệ phân loại trong khai thác và chế biến tài nguyên đòi hỏi một phương pháp tích hợp trong nghiên cứu và phát triển, sử dụng vật lý tương tác photon - vật liệu để đặc trưng quặng - khoáng sản và xác định cấu trúc tinh

thể. Thành công của nó phụ thuộc vào sự phát triển của các máy phân loại tự động đa cảm biến tiết kiệm nước, sử dụng hệ thống phân biệt tích hợp với các phương pháp như đặc trưng quang học hoặc phi quang học, cùng với các hệ thống quyết định dựa trên trí tuệ nhân tạo, mang lại cả chất lượng và độ chính xác cao, đồng thời giám sát và phát hiện các bất thường của vật liệu. Sự phát triển trong công nghệ cảm biến, xử lý dữ liệu, phân tích và nhận dạng hình ảnh dựa trên trí tuệ nhân tạo đang được tiến hành và đã cho thấy tiềm năng trong nhiều lĩnh vực khác nhau (ví dụ, dẫn đường và lái xe tự động). Những tiến bộ công nghệ này là những yêu cầu cơ bản trong giai đoạn ngắn đến trung hạn để tạo ra các hệ thống phân biệt và phân loại tự động. Hệ thống như vậy có thể bao gồm các chức năng như phân loại được điều khiển bằng cảm biến sử dụng phương pháp tách cơ học. Nhiều cảm biến sẽ đồng thời phát hiện và cung cấp thông tin đa chiều về dòng vật liệu. Trí tuệ nhân tạo đóng vai trò then chốt trong việc phân tích thông tin phong phú này theo thời gian thực, để hướng dẫn quá trình phân loại cơ học.

4. Vấn đề đào tạo nguồn nhân lực cho ngành khoáng sản trong tương lai

Khi thế giới ngày càng phụ thuộc vào các công nghệ kỹ thuật cao và không ngừng phát triển, nhu cầu về nguồn nhân lực có kỹ năng số và xử lý dữ liệu sẽ ngày càng tăng. Mặc dù các công nghệ robot và tự động hóa có thể vượt trội hơn con người trong một số lĩnh vực như tính toán, mô phỏng và chẩn đoán, nhưng con người vẫn là lực lượng lao động chính trong việc thiết

kế và triển khai các lĩnh vực (chưa đầy đủ): thuật toán trí tuệ nhân tạo; tạo lập, lưu trữ, truyền tải và quản lý dữ liệu; cảm biến; thiết bị tính toán; và thăm dò môi trường.

Trong các ứng dụng khoa học, việc chỉ dựa vào dữ liệu là chưa đủ, phương pháp dựa trên giả thuyết vẫn là cách tiếp cận chủ đạo để giải quyết vấn đề. Hơn nữa, trong tương lai gần, việc tự động hóa có thể thay thế hoàn toàn các quyết định ở cấp độ cao và sự kiểm định thủ công (các thuật toán, dữ liệu và quyết định) là điều khó có thể xảy ra. Công nghệ số và trí tuệ nhân tạo có thể thay thế các công việc lặp đi lặp lại mà con người thực hiện, nhưng trí tuệ cảm xúc và trí tuệ xã hội, cùng với khả năng giải quyết các vấn đề phức tạp thông qua tương tác xã hội, vẫn là những yếu tố đặc trưng chỉ con người mới có.

Tuy nhiên, để tận dụng dữ liệu và công nghệ số, cần có những bộ kỹ năng mới hoặc bổ sung nhằm hiện thực hóa đầy đủ giá trị của Công nghiệp 4.0 trong ngành khoáng sản. Ví dụ, các nhà máy tuyển khoáng là một trong những khâu có mật độ dữ liệu cao nhất trong toàn bộ quá trình khai thác. Dữ liệu được tạo ra và lưu trữ ở hầu như mọi bước trong quy trình, nhưng giá trị của dữ liệu này thường không được nhận biết đầy đủ do hạn chế về kiến thức số của các nhân viên vận hành [9].

Trước đây, việc phân tích và tối ưu hóa quy trình thường được thực hiện bởi các kỹ sư và chuyên gia luyện kim, những người có kinh nghiệm quan sát sự thay đổi hành vi của thiết bị hoặc quy trình. Tuy nhiên, việc diễn giải dữ liệu vẫn phụ thuộc vào đội ngũ nhân viên có trình độ cao và hiểu



rõ quy trình vận hành - điều này cho thấy các phương pháp dựa vào dữ liệu vẫn chưa được áp dụng đầy đủ. Việc sử dụng dữ liệu từ từng công đoạn riêng lẻ để hỗ trợ ra quyết định là phổ biến, nhưng khả năng sử dụng bộ dữ liệu tích hợp từ nhiều công đoạn khác nhau vẫn còn hạn chế, do dữ liệu thường bị phân tán, khó liên kết hoặc hợp nhất để phân tích tổng thể.

Trong tương lai, các chuyên gia trong ngành khai thác và chế biến khoáng sản cần tiếp tục nắm vững các kiến thức chuyên ngành (ví dụ: địa thống kê và các lĩnh vực trong địa khoa học), đồng thời bổ sung thêm kỹ năng về phân tích dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo, khoa học dữ liệu và học máy nhằm khai thác hiệu quả hơn các dữ liệu về địa chất, khai thác và vận hành nhà máy. Họ cần có kỹ năng hiểu và xây dựng các dữ liệu phức hợp (ví dụ: dữ liệu đa quy mô, đa chiều và liên ngành).

Để nâng cao năng lực số cho các chuyên gia ngành khoáng sản, đào tạo dựa trên mô phỏng và "gamification" (trò chơi hóa) là những phương pháp đang được nghiên cứu. Phương pháp tiếp cận bằng trò chơi giúp người lao động học các công nghệ mới và thích nghi với thay đổi trong vận hành. Về mặt lý thuyết, hiện chưa có khung lý thuyết thống nhất nào cho nghiên cứu học thuật về "gamification", tuy nhiên nhiều nhà nghiên cứu đang tìm cách tích hợp phương pháp trò chơi hóa với các kỹ năng tương lai cần thiết [10].

Một cách tiếp cận khác để chuẩn bị cho nguồn nhân lực trong tương lai là mô hình đào tạo tích hợp - kết hợp bằng kỹ thuật với phân tích dữ liệu và các môn học thuộc

lĩnh vực kinh tế - xã hội. Mô hình này hiện đã bắt đầu được chấp nhận tại nhiều cơ sở giáo dục. Trong ngành khoáng sản, các dự án thí điểm về "bản sao số" (digital twin) đã cho thấy nhiều triển vọng, và đây có thể sẽ trở thành một phương pháp bổ sung hoặc thay thế để phân tích hiệu quả vận hành của mỏ và nhà máy [9].

5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

Chuyển đổi công nghệ ngành chế biến khoáng sản theo hướng tiết kiệm năng lượng và thân thiện môi trường là xu hướng tất yếu trong kỷ nguyên số. Khoáng sản vẫn giữ vai trò quan trọng cho nền kinh tế và phát triển công nghệ cao, nhưng cũng là ngành tiêu thụ nhiều năng lượng và tài nguyên nước. Để đảm bảo bền vững, cần kết hợp hai chiến lược song song: ứng dụng chuyển đổi số và đổi mới công nghệ "xanh". Chuyển đổi số giúp giám sát và tối ưu hóa liên tục các quy trình khai thác - chế biến, qua đó giảm tiêu thụ điện, hóa chất và nước. Các công nghệ xử lý ít nước (phân loại tự động, ép lọc, kho chứa khô...) và hệ thống quản lý thông minh sẽ làm giảm tác động môi trường.

5.2. Kiến nghị

Để hiện thực hóa quá trình chuyển đổi số hiệu quả, ngành chế biến khoáng sản cần:

(1) Đầu tư mạnh mẽ vào hạ tầng công nghệ và trang thiết bị hiện đại, nhất là ở các doanh nghiệp nhà nước và tư nhân.

(2) Tăng cường hợp tác quốc tế để tiếp nhận công nghệ và mô hình quản trị tiên tiến.

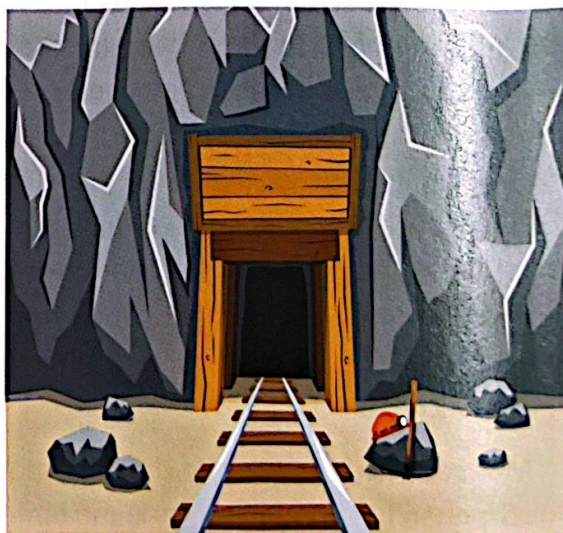
(3) Có chính sách ưu đãi tín dụng, thuế, hỗ trợ doanh nghiệp trong giai đoạn chuyển đổi công nghệ xanh và số.

(4) Nguồn nhân lực cần được đào tạo chuyên sâu về công nghệ số và môi trường

□

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cisternas, L.A., Ordoñez, J.I., Jeldres, R.I., Serna-Guerrero, R., (2021). Toward the implementation of circular economy strategies: an overview of the current situation in mineral processing. *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.*
- [2]. Neto, D.J., Bergerman, M.G., Young, A.S., Petter, C.O., (2019). Pre-concentration potential evaluation for a silicate zinc ore by density and sensor-based sorting methods. *REMInt. Eng. J.* 72 (2), 335–343.
- [3]. Quyết định số 334/QĐ-TTg (2023) Phê duyệt Chiến lược Địa chất, khoáng sản và Công nghiệp khai khoáng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045
- [4]. <https://masanhightechmaterials.com/vi/>
- [5]. Sehoole, L., Manzi, M.S.D., Zhang, S.E., Bourdeau, J.E., (2020). An innovative seismic and statistical approach to understand 3D magmatic structures and ore deposits in the western Bushveld Complex, South Africa. *Ore Geol. Rev.*, 103784
- [6]. Ghorbani, Y., Zhang, S.E., Nwaila, G.T., Bourdeau, J.E., (2022). Framework components for data-centric dry laboratories in the minerals industry: a path to science- and technology-led innovation. *Extr. Ind. Soc.* 101089
- [7]. Robben, C., Wotruba, H., (2019). Sensor-based ore sorting technology in mining—past, present and future. *Minerals* 9, 523.
- [8]. Bacchuwar, S.S., Mkandawire, N.P., McGrath, T.D.H., Lin, C.L., Miller, J.D., (2019). X-ray computed tomography for 3D analysis of gangue mineral rejection by gravity preconcentration of sulfidic gold ores. *Miner. Process. Extr. Metall. (IMM Trans. Sect. C)* 129, 49–63.
- [9]. Goodall, W., (2020). Analytics in Mineral Processing. *Min Assist.* In: <https://minassist.com.au/analytics-in-mineral-processing/>.
- [10]. Wang, F., Hsu, Y., Fang, K., (2021). The key elements of gamification in corporate training - the Delphi method. *Entertain. Comput.* 40, 100463



Nguồn ảnh: Sưu tầm internet



ENERGY-EFFICIENT AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MINERAL PROCESSING IN THE DIGITAL TRANSFORMATION ERA

Nhu Thi Kim Dung^{1*}, Vu Thi Chinh¹, Pham Thi Nhung¹

¹Hanoi University of Mining and Geology,

*Email: nhuthikimdung@humg.edu.vn

Abstract:

As globalization and digital transformation accelerate, the mineral processing industry is facing an urgent need to innovate technologies toward energy efficiency and reduced environmental impact. The adoption of digital technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), big data analytics, and automation is helping to optimize mineral processing operations. Thanks to intelligent monitoring and control systems, mineral processing plants can manage energy consumption more effectively, reducing heat and electricity losses during crushing and beneficiation stages. At the same time, digital technology enhances water reuse capabilities and reduces waste and harmful emissions into the environment. Digital transformation not only brings economic benefits but also plays a crucial role in building a sustainable mineral processing industry, contributing to commitments on greenhouse gas emission reductions and environmental protection. Further investment in technology and digital workforce training is the key for the mineral processing sector to meet strict environmental protection and green development requirements in the future.

Keywords: Digital transformation, mineral processing, technology, energy, environment.