



ỨNG DỤNG AI TRONG NGÀNH KHAI THÁC THAN VÀ MỘT SỐ VÍ DỤ ĐIỂN HÌNH TRÊN THẾ GIỚI

Phùng Quốc Huy

Trung tâm Nghiên cứu Năng lượng Châu Á - Thái Bình Dương, 1-13-1 Kachidoki, Tokyo 104-0054, Japan

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 05/3/2025

Ngày nhận bài sửa: 10/4/2025

Ngày chấp nhận đăng: 15/4/2025

Tác giả liên hệ:

Email: huy.phung@aperc.or.jp

TÓM TẮT

Trí tuệ nhân tạo (AI) đang tạo ra những thay đổi đáng kể trong ngành khai thác than thông qua nhiều ứng dụng nhằm nâng cao hiệu suất, an toàn và tuân thủ các quy định về môi trường. Bài viết nêu bật các ứng dụng cụ thể của AI, bao gồm tự động hóa phương tiện và quy trình khai thác, triển khai robot và máy bay không người lái để giám sát từ xa, cũng như các hệ thống AI hỗ trợ giám sát an toàn lao động theo thời gian thực và phát hiện nguy hiểm. Ngoài ra, bài viết thảo luận về vai trò quan trọng của AI trong công tác bảo trì dự đoán nhằm giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động của thiết bị, cũng như trong việc giám sát và đảm bảo tuân thủ các quy định về môi trường liên quan đến chất lượng không khí và nước. Cuối cùng, AI còn được ứng dụng để tối ưu hóa hoạt động khai thác và chế biến, giúp tăng năng suất lao động và giảm chi phí, được minh chứng qua các mô hình AI tích hợp dành cho quản lý mỏ toàn diện.

Từ khóa: Trí tuệ nhân tạo, an toàn, quản lý mỏ

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành khai thác than đang đối mặt với nhiều thách thức nghiêm trọng trong bối cảnh hiện nay. Các vấn đề về an toàn lao động, hiệu quả sản xuất, tác động môi trường và chi phí vận hành đang tạo áp lực lớn cho các doanh nghiệp. Khai thác than vẫn là một trong những ngành nghề nguy hiểm nhất với tỷ lệ tai nạn cao, điều kiện làm việc khắc nghiệt và có nhiều rủi ro về sức khỏe đối với người lao động.

Trước những thách thức này, trí tuệ nhân tạo (AI) đang nổi lên như một công cụ tiềm năng để cách mạng hóa ngành khai thác than. Công nghệ AI có khả năng phân tích khối lượng dữ liệu khổng lồ, học hỏi từ các hành động mẫu và đưa ra quyết định thông minh trong thời gian thực, mang lại cơ hội cải thiện an toàn, tăng năng suất và giảm tác động môi trường. Việc ứng dụng AI trong khai thác than không chỉ là xu hướng công nghệ mà còn là nhu cầu cấp thiết để duy trì tính cạnh tranh và bền vững của ngành.

Trong khi thực tiễn ứng dụng về AI ở Việt Nam còn hạn chế, nghiên cứu này nhằm tổng quan các

ứng dụng hiện tại của AI trong ngành khai thác than trên thế giới, đánh giá hiệu quả của các ứng dụng này và thảo luận về tiềm năng áp dụng trong tương lai, bài học kinh nghiệm định hướng cho điều kiện Việt Nam. Thông qua việc tổng hợp và phân tích các ví dụ thực tế, bài viết sẽ cung cấp bức tranh toàn diện về cách thức AI đang định hình lại quy trình khai thác than, từ hoạt động đào lò cơ bản, khai thác đến quy trình an toàn, bảo trì thiết bị, quản lý môi trường và tối ưu hóa sản xuất.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp tổng hợp và phân tích dữ liệu thứ cấp từ nhiều nguồn đa dạng, bao gồm báo cáo công nghiệp, nghiên cứu học thuật, bài báo chuyên ngành, báo cáo doanh nghiệp và các ví dụ điển hình về ứng dụng AI trong khai thác than. Phương pháp này cho phép thu thập thông tin toàn diện về các ứng dụng AI hiện tại và đánh giá tác động của chúng trong thực tế.

Phạm vi nghiên cứu bao gồm 05 lĩnh vực chính của ứng dụng AI trong khai thác than:

- Tự động hóa và sử dụng robot trong hoạt động khai thác;
- Giám sát an toàn và phòng ngừa tai nạn bằng AI;
- Bảo trì dự đoán thiết bị khai thác;
- Quan trắc và tuân thủ các quy định về môi trường;
- Tối ưu hóa khai thác và chế biến than nhờ AI. Nghiên cứu tập trung vào các công nghệ AI đang được áp dụng, bao gồm:
- Máy học và học sâu;
- Xử lý hình ảnh và nhận dạng đối tượng;
- Mạng cảm biến thông minh và Internet vạn vật (IoT);
- Robot và hệ thống tự hành;
- Phân tích dữ liệu lớn;
- Mô hình AI tích hợp.

Các ví dụ điển hình được lựa chọn từ các mỏ than ở một số quốc gia, đặc biệt là Trung Quốc, Australia và Hàn Quốc, nơi có nhiều sáng kiến tiên tiến về ứng dụng AI trong khai thác than.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tự động hóa và sử dụng robot trong hoạt động khai thác

a. Vận tải và xe tải tự hành

Tại các mỏ than lộ thiên, xe tải tự hành đã và đang được áp dụng tại một số khai trường mỏ. Ví dụ, EACON Mining, một công ty của Úc, đã trang bị cho mỏ than South Pit (ở Trung Quốc) đội xe tải tự lái. Sau các thử nghiệm ban đầu với gần 40 xe tải, EACON đang bổ sung 100 xe tải tự hành hybrid mới. Cho đến nay, các xe tải tự hành đã chạy được hơn 1,09 triệu km. Những chiếc xe tải được điều khiển bằng AI này đã hoạt động đáng tin cậy trong các điều kiện khắc nghiệt (nóng, lạnh, bão cát) và tiết kiệm 20% nhiên liệu so với xe tải do con người điều khiển. Điều này giúp tăng năng suất (thời gian hoạt động dài hơn và trọng tải cao hơn) đồng thời giữ cho công nhân tránh xa các khu vực nguy hiểm.



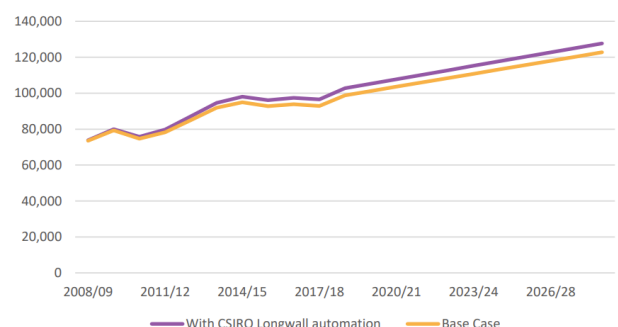
Hình 1. Xe tải tự hành dùng cho mỏ lộ thiên South Pit, Trung Quốc

(Nguồn: EACON)

b. Tự động hóa khai thác lò chợ

Trong khai thác than hầm lò, việc tự động hóa một số công đoạn có sử dụng AI đang cách mạng hóa các hoạt động lò chợ. Tổ chức nghiên cứu khoa học CSIRO của Úc đã nghiên cứu và áp dụng hệ thống tự động hóa lò chợ LASC (Longwall Automation Steering Committee), sử dụng cảm biến và AI để định vị máy khâu chính xác. Công nghệ này cho phép khâu cắt liên tục theo vỉa than, loại bỏ việc điều chỉnh thủ công thường xuyên.

Đơn vị: Ngàn tấn



Hình 2. Sản lượng than khai thác hầm lò tại Úc khi sử dụng lò chợ thông thường (Base case) và lò chợ có tự động hóa.

(Nguồn: ACIL ALLEN, 2014)

Việc triển khai tự động hóa lò chợ thành công đã giúp giảm đáng kể số lượng công nhân, thậm chí không cần công nhân làm việc trong lò chợ. Điều này giúp người lao động tránh được các nơi làm việc không an toàn và tăng năng suất lao động, góp phần vào một ngành công nghiệp an toàn hơn và cạnh tranh hơn. Nhiều lò chợ ở Úc áp dụng các hệ thống này đã cải thiện tỷ lệ thu hồi than, giảm thời gian chết của thiết bị và tăng cường công tác an toàn.

c. Robot kiểm tra và máy bay không người lái

Các công ty than cũng đang sử dụng robot và máy bay không người lái để kiểm tra mỏ từ xa. Robot kiểm tra thông minh có thể tuần tra đường hầm, theo dõi hàm lượng khí mỏ và kiểm tra thiết bị, giúp giảm số lượng công nhân tại các khu vực nguy hiểm hoặc khó tiếp cận. Các thử nghiệm ở Trung Quốc đã chỉ ra rằng robot kiểm tra có thể giảm chi phí lao động và cải thiện hiệu quả trong khi đảm bảo hoạt động ổn định, an toàn. Ví dụ, robot được trang bị camera và cảm biến có thể tự động điều hướng các lối đi trong mỏ để phát hiện các mối nguy hiểm hoặc cung cấp cảnh báo sớm. Tương tự, máy bay không người lái được sử dụng trong các mỏ than lộ thiên để khảo sát các địa điểm nổ mìn và kho than, sử dụng AI để phân tích hình ảnh để lập bản đồ và lập kế hoạch khai thác chính



xác hơn. Các hệ thống robot này đã giúp giải phóng người lao động khỏi các công việc kiểm tra thường xuyên và giúp ngăn ngừa tai nạn bằng cách phát hiện sớm các vấn đề (Yan Shen và nnk, 2022).



Hình 3. Robot kiểm tra mỏ

(Nguồn: Yan Shen và nnk, 2022)

d. Máy móc có sử dụng AI

Các nhà sản xuất máy móc, thiết bị hạng nặng đang tích hợp AI vào máy móc khai thác mỏ để tự động hóa một phần hoặc toàn bộ. Năm 2023, XCMG (hãng sản xuất thiết bị) của Trung Quốc đã giới thiệu một dòng máy khai thác thông minh, bao gồm xe tải tự hành chạy điện và máy xúc do AI điều khiển nhằm mục đích đồng bộ các hoạt động từ “thăm dò đến khai thác, vận chuyển và chế biến”. Những máy này sử dụng một loạt các cảm biến, radar và camera để “quan sát” môi trường xung quanh và đưa ra quyết định theo thời gian thực, hỗ trợ điều khiển từ xa hoặc hoàn toàn không cần người lái. Bằng cách sử dụng AI để điều hướng và phát hiện chướng ngại vật, xe tải và máy xúc như vậy có thể hoạt động 24/7 với thời gian ngừng hoạt động là tối thiểu. Các triển khai ban đầu cho thấy có cải thiện về độ chính xác (ví dụ: định vị xe tải chính xác hơn tại các điểm bốc hàng) và giảm thời gian nhân rồi (Mine, 2023).

Nhìn chung, tự động hóa và sử dụng robot trong các hoạt động khai thác than đang mang lại điều kiện làm việc an toàn hơn và tăng năng suất bằng cách giảm thiểu sự tiếp xúc của con người với các mối nguy hiểm và sử dụng máy móc để thực hiện các nhiệm vụ lặp đi lặp lại hoặc có mức độ rủi ro cao.

3.2. Giám sát an toàn và phòng ngừa tai nạn bằng AI

a. Giám sát công nhân theo thời gian thực

Các công ty khai thác mỏ đang sử dụng AI để chủ động theo dõi sức khỏe và sự mệt mỏi của thợ mỏ nhằm ngăn ngừa tai nạn trước khi chúng xảy ra. Một ví dụ đáng chú ý là hệ thống An toàn Mỏ DX được triển khai bởi Almonty Industries (tại mỏ Sangdong, Hàn Quốc). Almonty đã Hợp tác với KT (Korea Telecom), trang bị cho thợ mỏ các thiết bị đeo thông minh (mũ bảo hiểm và vòng đeo tay) theo dõi các dấu hiệu sinh trắc học như nhịp tim và sự mệt mỏi (Financial Post, 2023). Các thuật toán AI phân tích dữ liệu thời gian thực này để phát hiện sớm các dấu hiệu của sự mệt mỏi và cảnh báo cho người giám sát can thiệp, đưa công nhân ra khỏi các điều kiện nguy hiểm trước khi sự cố xảy ra. Hệ thống cũng gắn thẻ định vị vị trí của từng công nhân và gửi cảnh báo tự động nếu ai đó đi vào khu vực cấm hoặc nguy hiểm. Điều này đã cho phép ứng cứu sự cố một cách nhanh chóng. Ví dụ, không may nếu xảy ra sập lò hoặc cháy mỏ, người quản lý mỏ có thể biết chính xác ai đang ở dưới hầm lò và ở đâu. Từ đó, có thể rút ngắn thời gian cứu hộ. Almonty báo cáo rằng việc giới thiệu Mine Safety DX đã nâng cao đáng kể nhận thức về tình huống và có thể cứu sống được nhiều công nhân hơn. Trên thực tế, họ đã cam kết mở mã nguồn công nghệ để tất cả các mỏ của Hàn Quốc có thể áp dụng các biện pháp an toàn này. Công ty có kế hoạch tích hợp thiết bị tự hành vào mạng lưới này, để máy móc có thể tự động dừng hoặc điều chỉnh khi một người gặp nguy hiểm, tương tự như hệ thống tránh va chạm.

b. Phát hiện mệt mỏi và tránh va chạm

BHP (một tập đoàn khai thác mỏ lớn của Úc) đã triển khai hệ thống quản lý tình trạng sức khỏe dựa trên AI cho người lái xe tải mỏ để giảm tai nạn. Người vận hành được đội mũ thông minh có chức năng đọc sóng não (EEG) để quan sát các dấu hiệu buồn ngủ. AI trong mũ tìm kiếm các mẫu hoạt động của não báo hiệu người lái xe đang buồn ngủ, sau đó kích hoạt báo động hoặc thông báo cho phòng điều khiển để hành động. Trong các thử nghiệm với 1.500 tài xế trên xe tải mỏ cỡ lớn, việc theo dõi sự mệt mỏi chủ động này đã được ghi nhận không có tai nạn giao thông liên quan đến buồn ngủ kể từ khi ra mắt vào năm 2022 (Mine 2023). Trước đây, BHP dựa vào các hệ thống dựa trên camera chỉ phản ứng sau khi mắt người lái xe nhắm lại; mũ AI cung cấp cảnh báo sớm hơn nhiều. Giám đốc Công nghệ của BHP lưu ý rằng phương pháp phòng ngừa này không chỉ cứu sống mà còn có thể tiết kiệm hàng triệu đô la bằng cách

tránh các vụ tai nạn xe tải ở các mỏ. Ngoài sự mệt mỏi, phân tích hình ảnh và AI cũng đang được sử dụng trên các thiết bị hạng nặng để tránh va chạm trong mỏ. Ví dụ, nhiều máy xúc, xe tải và máy khoan lớn hiện có hệ thống camera 360° và AI có thể xác định khi một người hoặc phương tiện ở quá gần, tự động dừng máy. Những “con mắt kỹ thuật số” này giảm đáng kể các tai nạn khai thác phổ biến như va chạm với người hoặc thiết bị khác.

c. Phát hiện mối nguy hiểm thông minh

AI đang giúp cải thiện các hệ thống an toàn mỏ truyền thống bằng cách phân tích dữ liệu cảm biến không lỗi để dự đoán và ngăn chặn sự cố. Ở Trung Quốc, tai nạn trong ngành khai thác than là một mối quan tâm lớn của toàn xã hội. Vì vậy, các hệ thống giám sát thông minh là một phần của nỗ lực quốc gia để giúp các mỏ an toàn hơn. Tính đến đầu năm 2024, tỉnh Sơn Tây (trung tâm than của Trung Quốc) đã xây dựng 118 “mỏ than thông minh” với 1.491 hệ thống khai thác thông minh được triển khai. Các hệ thống này kết hợp AI với cảm biến IoT để quan trắc liên tục hàm lượng khí mỏ, quan trắc dịch động của địa tầng và kiểm tra tình trạng thiết bị. Ví dụ, một số mỏ sử dụng nhận dạng video dựa trên AI để đảm bảo công nhân mặc đồ bảo hộ thích hợp và phát hiện các hành vi không an toàn hoặc bất thường (như phát hiện ra khói hoặc sử dụng công cụ không đúng cách) trong thời gian thực. Tại một mỏ than ở Nội Mông, một hệ thống do AI điều khiển đã được lắp đặt để theo dõi hoạt động của băng tải và tự động điều chỉnh tốc độ của chúng. Mặc dù mục tiêu chính của nó là nâng cao năng suất vận tải, nhưng nó cũng cải thiện an toàn bằng cách ổn định dòng chảy của than và ngăn ngừa quá tải có thể dẫn đến cháy hoặc đứt băng tải. Tác động rộng hơn là AI cung cấp khả năng “cảnh báo sớm”, như dự báo các sự cố tiềm ẩn hoặc các điều kiện nguy hiểm trước khi con người nhận thấy chúng. Do đó, làm giảm thiểu khả năng xảy ra tai nạn. Nhiều mỏ than đã báo cáo rằng có ít lần ngừng hoạt động vì lý do an toàn hơn và xu hướng giảm các sự cố nghiêm trọng sau khi đầu tư vào các hệ thống an toàn kỹ thuật số này.

3.3. Bảo trì dự đoán thiết bị khai thác

Là quy trình bảo trì chủ động dựa trên việc đánh giá quy trình và dữ liệu máy móc thu thập được, sử dụng để xác định tình trạng của các thiết bị máy móc đang vận hành nhằm dự đoán khi nào cần tiến hành bảo trì, giúp tiết kiệm thời gian và các chi phí liên quan.

a. Giảm thời gian ngừng hoạt động ngoài kế hoạch

Bảo trì dự đoán do AI điều khiển đang định hình lại cách thức bảo dưỡng thiết bị khai thác mỏ. Thay

vì chờ sự cố xảy ra, các mỏ đang sử dụng AI để dự đoán lỗi trước và lên lịch bảo trì chủ động. Theo McKinsey, việc áp dụng cảm biến từ xa và phân tích AI để bảo trì thiết bị có thể giảm thời gian ngừng hoạt động của thiết bị ngoài kế hoạch tới 50%. Đây là một lợi ích to lớn trong một ngành công nghiệp mà băng tải, máy xúc hoặc máy khâu lò chợ bị hỏng đột ngột có thể làm ngừng sản xuất cả dây chuyền khai thác than hầm lò. Các công ty khai thác lớn đã nắm bắt điều này: ví dụ, Rio Tinto đã hợp tác với các nhà cung cấp công nghệ như AVEVA để theo dõi tình trạng thiết bị trong thời gian thực. Hệ thống của Rio Tinto truyền dữ liệu từ máy móc (độ rung, nhiệt độ, v.v.) vào một nền tảng AI theo dõi các mẫu bất thường và sử dụng các thuật toán tiên tiến để gắn cờ các dấu hiệu cảnh báo sớm về hao mòn trên một loạt thiết bị. Điều này có nghĩa là thợ máy có thể được cử đến để sửa chữa hoặc thay thế linh kiện kịp thời thay vì phải đối phó với một sự cố nghiêm trọng trong lúc đang hoạt động (Mining Technology, 2024).

b. Giám sát băng tải và máy nghiền (Ví dụ điển hình)

Một ví dụ điển hình đến từ một giải pháp AI có tên DataMind AI™ của Razor Labs, được áp dụng trong một hệ thống băng tải khai thác. Trong một kịch bản, AI liên tục phân tích dữ liệu cảm biến trên động cơ băng tải và máy nghiền quặng được kết nối. Nó đã học được các mô hình rung và tiêu thụ điện năng bình thường, và nó phát hiện những thay đổi tinh vi cho thấy thiết bị đang có vấn đề (Ví dụ: vấn đề với lớp lót máy nghiền hoặc băng tải quặng không đúng thông số kỹ thuật). Bằng cách cảnh báo nhân viên sớm, AI đã ngăn chặn được khoảng 6 giờ ngừng hoạt động băng tải ngoài kế hoạch cho mỗi sự cố, tiết kiệm khoảng 108.000 đô la mỗi lần (Razor Labs, 2024).

Một ví dụ khác tại cùng một hệ thống nêu trên, AI đã phát hiện ra ổ trục rỗng rọc của máy chất hàng bị xuống cấp và tránh được việc ngừng hoạt động 14 giờ (tiết kiệm hơn 1 triệu đô la). Những ví dụ này chứng minh cách bảo trì dự đoán trong các nhà máy sàng tuyển than hoặc khoáng sản có thể mang lại lợi ích cả về an toàn và chi phí. Ít sự cố hơn có nghĩa là ít phải sửa chữa, mang lại hiệu quả và ổn định sản xuất.

c. Kéo dài tuổi thọ thiết bị và an toàn

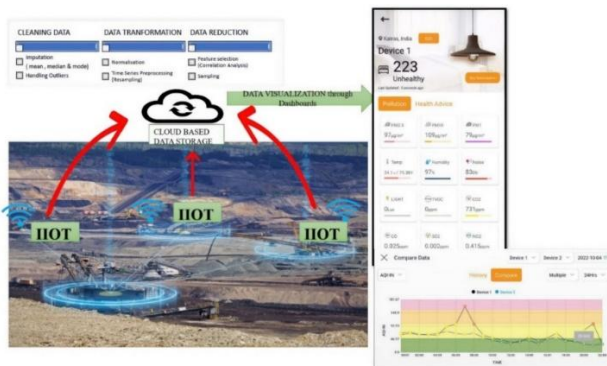
Bảo trì thiết bị dựa trên AI không chỉ giảm thời gian ngừng hoạt động, nó còn kéo dài tuổi thọ của thiết bị và ngăn ngừa tai nạn lao động do hỏng hóc đột ngột. Ví dụ, các hệ thống giám sát trên xe tải hạng nặng sẽ theo dõi tình trạng động cơ và lốp xe. Bằng cách dự đoán nỗ lực hoặc động cơ quá nhiệt, các mỏ có thể bảo dưỡng xe tải trước khi



xảy ra sự cố có thể xảy ra. BHP báo cáo rằng chương trình bảo trì dựa trên AI của họ đã dẫn đến ít hỏng hóc nghiêm trọng động cơ xe tải hơn đáng kể, từ đó giảm nguy cơ an toàn cháy động cơ. Ngoài ra, việc bảo trì thiết bị ở tình trạng tối ưu giúp nó hoạt động hiệu quả hơn (sử dụng ít nhiên liệu hoặc điện hơn) và giảm nguy cơ hư hỏng thứ cấp. Một số hoạt động đã thấy chi phí bảo trì giảm đến 20% và tuổi thọ máy móc kéo dài thêm 5-10% nhờ lập lịch bảo trì bằng AI, vì máy móc không bị sử dụng quá mức đến mức hỏng hóc. Nhìn chung, bảo trì dự đoán được hỗ trợ bởi AI đang trở thành tiêu chuẩn trong các mỏ than hiện đại, đảm bảo rằng mọi thứ từ băng tải đến quạt thông gió đều được hoạt động đáng tin cậy và an toàn.

3.4. Quan trắc và tuân thủ các quy định về môi trường

a. Kiểm soát chất lượng không khí và khí thải



Hình 4. Sơ đồ hệ thống cảm biến thông minh IoT để giám sát các thông số môi trường trên mỏ lộ thiên

(Nguồn: Vislavath Suresh và nnk, 2025)

Khai thác than phải đối mặt với các quy định nghiêm ngặt về bụi, khí mê-tan và các khí thải khác. AI đang giúp các mỏ quan trắc các chỉ số môi trường theo thời gian thực và đảm bảo sự tuân thủ các quy định về môi trường. Trong nhiều mỏ hiện đại, mạng lưới cảm biến thông minh hay cảm biến IoT đo bụi, nồng độ khí và chất lượng nước. Các nền tảng AI tổng hợp dữ liệu này và có thể phát hiện các xu hướng hoặc đột biến cần chú ý. Một nghiên cứu ở Trung Quốc cho thấy rằng việc sử dụng cảm biến IoT kết hợp với phân tích AI để theo dõi khí mê-tan trong các mỏ than đã dẫn đến giảm đáng kể lượng khí mê-tan rò rỉ (Vislavath Suresh và nnk, 2025). Hệ thống có khả năng xác định rò rỉ

hoặc khu vực có tích tụ khí nhanh hơn, cho phép đội thông gió xử lý kịp thời. Điều này không chỉ giúp đảm bảo an toàn (ngăn ngừa nổ khí) mà còn giảm lượng khí thải nhà kính. Tương tự, một mỏ than ở Úc đã triển khai một hệ thống quan trắc bụi do AI điều khiển xung quanh khai trường. Kết quả là việc quản lý chất lượng không khí và tuân thủ các quy định về môi trường tốt hơn. AI có thể dự đoán khi nồng độ bụi có xu hướng cao (do thời tiết hoặc hoạt động) và đề xuất các biện pháp chủ động như phun nước hoặc điều chỉnh hoạt động, do đó giữ được nồng độ bụi trong phạm vi cho phép theo quy phạm hay tiêu chuẩn.

b. Quan trắc nước và đất đá thải mỏ

Khai thác than có thể tác động đến các dòng nước (nước mặt và nước ngầm) và đất đai tại địa phương nơi có khai trường khai thác mỏ. AI đang hỗ trợ giảm thiểu các tác động này. Ví dụ, một số công ty đang thử nghiệm AI để giám sát bãi thải mỏ sử dụng máy bay không người lái hoặc hình ảnh vệ tinh được phân tích bằng máy học để phát hiện bất kỳ dấu hiệu sạt lở hoặc yếu cấu trúc nào trong các bãi thải mỏ. Mặc dù ví dụ cụ thể về than ít được công bố hơn, các kỹ thuật tương tự được sử dụng trong các mỏ khoáng sản. Phân tích hình ảnh AI có thể phát hiện những thay đổi bất thường về thảm thực vật hoặc biến dạng địa hình, cho phép can thiệp sớm. Một khía cạnh môi trường khác là tuân thủ phục hồi: AI có thể so sánh hình ảnh vệ tinh hiện tại của một vùng đất đã khai thác với kế hoạch phục hồi để xem liệu mỏ có đang thực hiện như đã cam kết hay không (ví dụ: kiểm tra xem các khu vực thích hợp đã được trồng lại chưa). Các công cụ này giúp các nhà quản lý và công ty đảm bảo tuân thủ môi trường một cách tự động, thay vì thông qua các cuộc kiểm tra thủ công không thường xuyên.

c. Tuân thủ quy định và báo cáo

Quản lý khối lượng lớn dữ liệu môi trường là một thách thức lớn đối với con người nhưng công việc này hoàn toàn phù hợp để sử dụng AI. Một số công ty than sử dụng phần mềm do AI điều khiển để liên tục tổng hợp dữ liệu về chất lượng không khí và nước, giúp dễ dàng tạo báo cáo tuân thủ và phát hiện bất kỳ vi phạm nào. Ví dụ, tỉnh Sơn Tây của Trung Quốc đã tạo ra một nền tảng internet công nghiệp tích hợp với AI thu thập dữ liệu từ hơn 400 mỏ than. Với sức mạnh tính toán khổng lồ, nền

tầng này có thể chạy các mô hình phức tạp để mô phỏng các kịch bản phát thải hoặc kiểm tra các chiến lược kiểm soát khác nhau trên thực tế. Các sáng kiến như vậy làm giảm rào cản cho các mỏ áp dụng AI bằng cách cung cấp các công cụ tập trung và cũng đảm bảo rằng các thực hành tốt nhất trong việc giảm phát thải được chia sẻ. Mặc dù vẫn còn những thách thức (như chi phí trả trước cao và nhu cầu về nhân viên có kỹ năng để duy trì các hệ thống này), xu hướng là rõ ràng: AI đang trở thành một công cụ quan trọng trong việc làm cho khai thác mỏ xanh hơn và đảm bảo các mỏ đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt. Các mỏ đã áp dụng giám sát thời gian thực cộng với phân tích AI thường báo cáo ít vi phạm tuân thủ hơn và quan hệ cộng đồng tốt hơn, vì họ có thể thể hiện sự minh bạch trong việc kiểm soát bụi và khí thải mỏ.

3.5. Tối ưu hóa khai thác và chế biến than nhờ AI

a. Tối ưu hóa quy trình và hiệu quả

AI đang được sử dụng để tinh chỉnh các quy trình phức tạp của khai thác, sàng tuyển và chế biến than để tối đa hóa sản lượng và giảm thiểu lãng phí. Các mô hình AI tiên tiến có thể phân tích dữ liệu địa chất để đề xuất cách tốt nhất để khai thác một vỉa than hoặc vận hành một nhà máy tuyển. Ví dụ, AI có thể giúp xác định góc cắt và tốc độ tối ưu cho máy khâu trong thời gian thực, điều chỉnh cài đặt của máy khâu lò chợ để phù hợp với điều kiện vỉa than và tránh cắt quá nhiều đá. Điều này cải thiện tỷ lệ thu hồi than và giảm hao mòn thiết bị. Theo các chuyên gia trong ngành, các hệ thống AI hiện có thể tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng trong cả khai thác và chế biến – quyết định những thứ như tốc độ băng tải lý tưởng hoặc cài đặt máy nghiền để xử lý dòng than khác nhau. Trong các nhà máy tuyển than, nơi rửa và phân loại than, AI có thể theo dõi chất lượng than (hàm lượng tro, độ ẩm) và tự động điều chỉnh việc trộn than từ các vỉa khác nhau để đạt được chất lượng mục tiêu. Về cơ bản, AI học hành vi của nhà máy và có thể điều chỉnh các thông số (như mật độ tách huyền phù đặc hoặc thời gian nghiền) để có được năng suất tốt nhất. Một cuộc phỏng vấn chuyên gia lưu ý rằng AI thậm chí có thể thiết lập các thông số làm sạch và phân loại tối ưu để cải thiện chất lượng và hiệu quả của than. Những tối ưu hóa quy trình

này có nghĩa là sản lượng than nhiều hơn từ cùng một nguồn tài nguyên và chi phí thấp hơn trên mỗi tấn (Mining, 2023).

b. Kiểm soát tốc độ thông minh và tiết kiệm năng lượng

Một trường hợp cụ thể là mỏ than Mataihao ở Nội Mông (Trung Quốc), đã lắp đặt một hệ thống giám sát và quản lý bằng AI vào năm 2022. Hệ thống này sử dụng AI để liên tục tối ưu hóa tốc độ băng tải và vận chuyển của mỏ dựa trên điều kiện thời gian thực. Bằng cách đó, nó duy trì dòng than một cách thông suốt từ mỏ đến nhà máy sàng tuyển, chế biến. Mỏ than báo cáo rằng hệ thống AI đã giảm mức tiêu thụ điện khoảng 2 triệu kWh mỗi năm, tiết kiệm khoảng 4 triệu nhân dân tệ (khoảng 550.000 đô la) chi phí điện hàng năm. Điều này đạt được bằng cách loại bỏ hoạt động dừng và chạy không hiệu quả của băng tải và đảm bảo thiết bị chạy ở tốc độ tốt nhất cho tải. Nó cũng làm giảm hao mòn trên băng tải và động cơ (vì nó tránh được ứng suất đột ngột), góp phần giảm chi phí bảo trì. Quan trọng là, AI giữ cho quá trình vận chuyển linh hoạt và cân bằng bất kể lượng than đang được khai thác tại một thời điểm nhất định. Loại tối ưu hóa thời gian thực này có thể được mở rộng sang các hệ thống khác – ví dụ: điều chỉnh mèm các quạt thông gió để tiết kiệm năng lượng khi có ít công nhân làm việc dưới hầm lò, hoặc lập lịch trình thông minh cho xe tải và máy xúc để giảm thiểu thời gian nhàn rỗi. Tất cả những điều chỉnh này được thúc đẩy bởi các thuật toán AI tích lũy thành những lợi ích hiệu quả đáng kể trong các hoạt động khai thác than quy mô lớn.

c. Hệ thống AI tích hợp (Mô hình Pangu)

Một trong những dự án tham vọng nhất về AI trong khai thác than là Mô hình Mỏ Pangu được phát triển bởi Huawei và Tập đoàn Năng lượng Sơn Đông ở Trung Quốc. Được công bố vào năm 2023 là mô hình AI thương mại đầu tiên trên thế giới dành riêng cho ngành công nghiệp than, Pangu được thiết kế để giám sát 21 kịch bản ứng dụng khác nhau trong khai thác than (Mining, 2023). Các kịch bản này bao trùm toàn bộ chuỗi giá trị: từ thăm dò địa chất, đào lò và khoan, đến vận chuyển, giám sát an toàn, kiểm soát khí mê-tan, chế biến than và thậm chí cả các hoạt động luyện cốc. Về cơ bản, nó là một bộ não AI khổng lồ có thể điều phối và tối ưu hóa nhiều khía cạnh hoạt động của mỏ cùng một lúc. Mô hình này đã



được thử nghiệm tại một số mỏ than của Tập đoàn Năng lượng Sơn Đông, nơi nó dự kiến sẽ cải thiện việc ra quyết định và tự động hóa. Ví dụ, Pangu có thể phân tích dữ liệu cảm biến để dự đoán các sự cố phụt than và đá bất ngờ và điều chỉnh kế hoạch khai thác để giảm thiểu chúng, tăng cường an toàn. Nó cũng có thể giúp điều phối thiết bị hiệu quả hơn và giảm tiêu thụ năng lượng bằng cách tìm ra lịch trình lý tưởng. Mặc dù kết quả đầy đủ vẫn chưa được công bố, ngành công nghiệp mỏ đang háo hức theo dõi việc triển khai Pangu, vì nó có thể thiết lập một tiêu chuẩn mới nếu nó thực hiện đúng lời hứa. Hy vọng rằng các hệ thống AI tích hợp như thế này sẽ thúc đẩy tối ưu hóa toàn diện – không chỉ cải thiện một máy hoặc một quy trình, mà còn điều phối toàn bộ hoạt động khai thác để đạt được năng suất, an toàn và hiệu quả chi phí tối đa.

Tóm lại, các công nghệ AI đang được áp dụng trong lĩnh vực khai thác than thông qua một loạt các dự án đổi mới. Các công ty đang thấy những lợi ích hữu hình: từ robot giúp con người tránh xa nguy hiểm và AI theo dõi và ngăn ngừa tai nạn, đến bảo trì dự đoán giúp giảm thời gian ngừng hoạt động và phân tích thông minh giúp khai thác vừa hiệu quả hơn vừa thân thiện hơn với môi trường. Những nghiên cứu điển hình này chứng minh rằng AI không chỉ là một khái niệm lý thuyết, nó đã mang lại kết quả rất cụ thể như cải thiện điều kiện làm việc an toàn hơn, chi phí thấp hơn và cải thiện tuân thủ. Khi các mô hình tính toán và mạng lưới cảm biến tiếp tục phát triển, chúng ta có thể mong đợi các hoạt động khai thác than thông minh hơn, dựa trên dữ liệu nhiều hơn, cân bằng nhu cầu sản xuất năng lượng với an toàn và bền vững.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phân tích toàn diện các ứng dụng AI trong ngành khai thác than. Kết quả cho thấy AI đang mang lại những lợi ích đáng kể:

- Cải thiện an toàn lao động: Các hệ thống giám sát dựa trên AI, robot kiểm tra và thiết bị tự hành đã giúp giảm thiểu sự tiếp xúc của người

lao động với môi trường nguy hiểm, phát hiện sớm các mối nguy hiểm và giảm đáng kể tai nạn lao động.

- Tăng năng suất và hiệu quả: Tự động hóa và tối ưu hóa quy trình dựa trên AI đã giúp tăng năng suất thông qua việc giảm thời gian ngừng hoạt động, tăng hiệu quả sử dụng nhiên liệu và tài nguyên. Xe tải tự hành tiết kiệm nhiên liệu 20% và hệ thống băng tải thông minh giảm tiêu thụ điện 2 triệu kWh/năm là những minh chứng rõ rệt.
- Giảm chi phí vận hành: Bảo trì dự đoán dựa trên AI đã giúp giảm thời gian ngừng hoạt động ngoài kế hoạch lên đến 50%, kéo dài tuổi thọ thiết bị thêm 5-10% và giảm chi phí bảo trì lên đến 20%.
- Cải thiện tuân thủ môi trường: Các hệ thống quan trắc môi trường dựa trên AI đã giúp giảm lượng khí thải mê-tan, kiểm soát bụi hiệu quả hơn và quản lý tốt hơn các bãi thải mỏ.
- Tích hợp thông minh: Các hệ thống AI tích hợp đang mở ra khả năng tối ưu hóa toàn diện hoạt động khai thác than.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra một số thách thức trong việc áp dụng AI, bao gồm chi phí đầu tư ban đầu cao, nhu cầu về nhân lực có kỹ năng, và sự phức tạp trong việc tích hợp công nghệ mới vào cơ sở hạ tầng hiện có.

Để phát triển các ứng dụng này trong tương lai, ngành khai thác than cần tiếp tục đầu tư vào nghiên cứu và phát triển công nghệ AI, đào tạo nhân lực để thích ứng với công nghệ mới, và xây dựng khung pháp lý phù hợp. Việc chia sẻ dữ liệu và hợp tác giữa các công ty trong ngành cũng rất quan trọng để thúc đẩy đổi mới.

Tóm lại, AI đang và sẽ tiếp tục đóng vai trò then chốt trong việc chuyển đổi ngành khai thác than thành một ngành công nghiệp an toàn hơn, hiệu quả hơn và thân thiện với môi trường hơn, hướng tới mục tiêu "mỏ than thông minh" hoàn toàn tự động và bền vững trong tương lai □

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. ACIL ALLEN, 2014. *LASC Longwall Automation: Case Study*
- [2]. EACON, <https://www.eacon.com/enproducts/>
- [3]. Financial Post (2023). Almonty Partners with Korea Telecom to Revolutionize Mine Safety While Also Demonstrating Commitment to ESG Compliance
- [4]. Mine (2023). Applications of artificial intelligence in the mining industry.

- [5]. Mining Technology (2024). Predictive maintenance and the rise of AI in mining.
- [6]. Mining (2023). AI's potential role in the coal industry.
- [7]. Razor Labs (2024). Transforming Mining Equipment Reliability with Predictive Maintenance
- [8]. Yan Shen và nnk 2022. *Application of Intelligent Inspection Robot in Coal Mine Industrial Heritage Landscape: Taking Wangshiwa Coal Mine as an Example*.
<https://doi.org/10.3389/fnbot.2022.865146>
- [9]. Vislavath Suresh và et al (2025). Advancing Sustainability in Surface Coal Mines Through Real-Time Air Quality Monitoring: Low-Cost IoT Solutions and the Role of Meteorological Factors in PM and GHG Emissions. <https://doi.org/10.3390/su17031301>

UTILIZATION OF AI IN COAL MINING AND CASE STUDIES WORLDWIDE

Phung Quoc Huy

Asia Pacific Energy Research Centre, 1-13-1 Kachidoki, Tokyo 104-0054, Japan

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 05/3/2025

Revised: 10/4/2025

Accepted: 15/4/2025

Corresponding author:

Email: huy.phung@aperc.or.jp

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is significantly transforming the coal mining industry through various applications aimed at enhancing efficiency, safety, and environmental compliance. The article highlights specific uses of AI, including automation of mining vehicles and processes, the deployment of robots and drones for remote inspections, and AI-powered systems for real-time worker safety monitoring and hazard detection. Furthermore, the article discusses the crucial role of AI in predictive maintenance to minimize equipment downtime and in monitoring and ensuring adherence to environmental regulations related to air and water quality. Finally, AI is being utilized to optimize mining and processing operations, leading to increased productivity and reduced waste, as exemplified by integrated AI models designed for comprehensive mine management.

Keywords: Artificial intelligence, safety, mine management

@ Vietnam Mining Science and Technology Association