

### **2.1. Thu hồi và làm nghèo trong khai thác**

Tác giả giả định rằng người đọc bài báo này có hiểu biết cơ bản về khai thác, nên ở đây tác giả chỉ đưa ra các khái niệm cơ bản về làm nghèo và tổn thất trong khai thác. Theo Bertinshaw và Lipton [3], “Làm nghèo trong khai thác nghĩa là làm giảm chất lượng khoáng vật (đất đá thải) khai thác có giá trị kinh tế được lấy ra cùng với quặng trong quá trình khai thác (...). Tổn thất trong khai thác nghĩa là phần nguồn tài nguyên khoáng sản có phẩm cấp cao hơn khoáng vật khai thác có giá trị kinh tế và dự định khai thác dưới dạng quặng nhưng không được đưa đến nhà máy nghiền hoặc đưa vào kho quặng, tức là bị tổn thất và trở thành đất đá thải”. Làm nghèo và tổn thất phát sinh do lỗi khai thác khó dự đoán hơn và ít hơn nhiều so với những tổn thất phát sinh do hình dạng mỏ và phương pháp khai thác được áp dụng. Bài báo này tập trung vào phương pháp khai thác được áp dụng.

Khi lựa chọn phương pháp để giải quyết tình trạng làm nghèo và thu hồi trong khai thác, một số vấn đề chính liên quan đến dự án luôn được tính đến:

- quy mô của nguồn tài nguyên khoáng sản so với kỳ vọng về thời gian tuổi thọ mỏ; và
- phẩm cấp/chất lượng sản phẩm nguyên khai.

Khi xem xét những điều trên, có thể lưu ý rằng, với nguồn tài nguyên khoáng sản hạn chế, mục tiêu của hoạt động khai thác có thể là làm giảm tổn thất khai thác bằng cách gia tăng làm nghèo và giảm phẩm cấp quặng tinh, nếu đơn vị chế biến chấp nhận điều đó và không làm cho quặng khai thác không đảm bảo thông số kỹ thuật. Ngược lại, nếu có nguồn tài nguyên khoáng sản đáng kể cho phép thời gian sản xuất tiềm năng dài hơn thời gian tuổi thọ mỏ yêu cầu, mục tiêu có thể là tối đa hóa phẩm cấp; nhưng một lần nữa, điều đó phụ thuộc vào thông số kỹ thuật của sản phẩm. Trong trường hợp này, đơn vị khai thác sẽ quyết định giảm thiểu làm nghèo (hoặc loại bỏ hoàn toàn), thường là bằng cách đưa ra mức tổn thất cao hơn trong

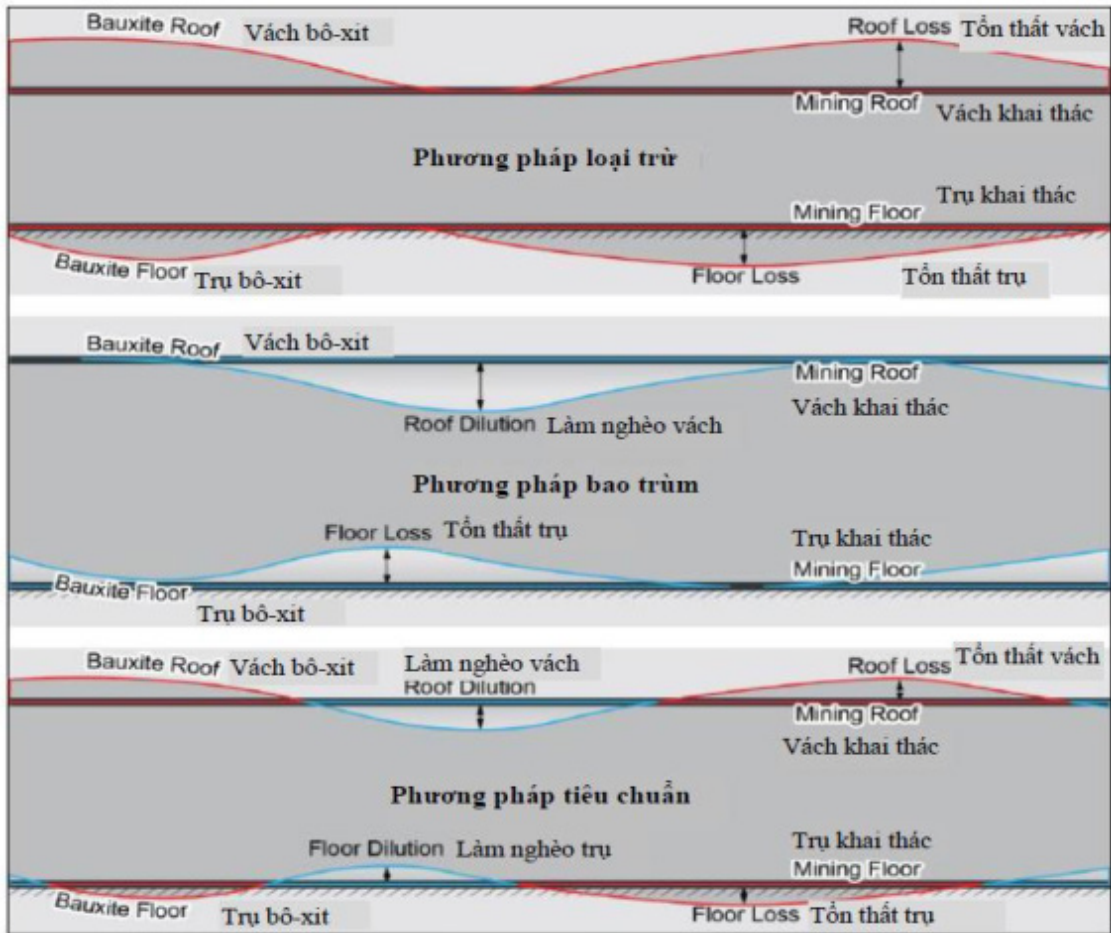
khi vẫn duy trì phẩm cấp cao.

Hình 1 thể hiện ba phương pháp có thể áp dụng để xử lý tình trạng làm nghèo và tổn thất trong khai thác đối với một dự án bô-xít điển hình, tùy thuộc vào mục tiêu khai thác. Phương pháp loại trừ chỉ giả định có tổn thất mà không làm nghèo để duy trì chất lượng tốt hơn nhưng không có lợi về mặt khối lượng sản phẩm. Phương pháp bao trùm giả định không có tổn thất nhưng làm nghèo nhiều hơn, với khối lượng lớn hơn nhưng sản xuất ra sản phẩm nguyên khai có chất lượng thấp hơn. Phương pháp tiêu chuẩn giả định các phần tổn thất và làm nghèo bằng nhau.

Mỗi dự án nên được phân tích theo góc nhìn này theo từng trường hợp cụ thể, có tính đến các mục tiêu chiến lược, bối cảnh địa chất và các kỹ thuật khai thác hiện có. Trong bất cứ kế hoạch chiến lược nào, việc đầu tiên là cần phân tích sự làm nghèo và tổn thất khi khai thác, sau đó thực hiện các nghiên cứu tiếp theo về khía cạnh kỹ thuật và kinh tế dựa trên các số liệu khai thác làm nghèo sản phẩm nguyên khai.

### **2.2. Chế biến và các yếu tố công nghệ khác**

Hoạt động khai thác là khởi đầu của toàn bộ quá trình sản xuất, tiếp theo là các yếu tố kỹ thuật và công nghệ giúp tạo ra và định hình sản phẩm cuối cùng. Trong trường hợp sản xuất bô-xít và alumin, các yếu tố chính là sản lượng ở các giai đoạn của quy trình sản xuất, chẳng hạn như thu hồi từ nghiền và tinh luyện quặng, tuyển rửa và chế biến (bao gồm/không bao gồm sấy khô), tinh chế và xử lý sản phẩm. Hạn chế duy nhất khi sử dụng các yếu tố này trong phân tích đó là tính sẵn có của dữ liệu (xem Mục 3 của bài báo này), vì các kỹ thuật mô hình hóa hiện tại cho phép số lượng các phương án và khả năng gần như không hạn chế. Ví dụ, người ta có thể phân tích hàm lượng alumin sẵn có toàn phần (“TAA”) cho mỗi khối khai thác được xem xét dựa trên thông tin địa chất nhằm cung cấp hàm lượng gibbsite, goethite và boehmite và sau đó sử dụng một lượng natri hydroxit cho công tác chế biến. Điều này sẽ chỉ ra những thay đổi tiềm ẩn về chi phí chế biến và chi phí này có thể được sử dụng làm



Hình 1: Ba phương pháp làm nghèo và tổn thất khi khai thác

động lực trong việc lập kế hoạch khai thác mỏ. Các cấp độ nghiên cứu khác nhau sẽ có các mức độ tin cậy khác nhau về dữ liệu đầu vào, nhưng loại phân tích này cho phép lập kế hoạch không chỉ về chất lượng mà còn về kinh tế, đây là kết quả mong đợi cuối cùng của doanh nghiệp.

### 2.3. Kinh tế

Tương tự như các yếu tố công nghệ, hầu như bất kỳ loại động lực kinh tế nào cũng có thể được chỉ định và sử dụng để phân tích. Các động lực này có thể bao gồm: chi phí khai thác, có thể được chia thành các nhóm nhỏ như khoan và nổ mìn (phụ thuộc vào cường độ của đất đá và khả năng đào); vận chuyển (khoảng cách từ máy nghiền hoặc bãi thải); chi phí nghiền (sử dụng điện liên quan đến cường độ của đất đá); chi phí tuyển

rửa và sấy khô (độ ẩm); chi phí điện và vật tư tiêu hao liên quan đến quy trình tinh chế (dựa trên các yêu cầu về nhiệt độ được mô hình hóa liên quan đến mô hình địa chất và khai thác); tiền thuê mỏ; hoặc chi phí tiếp thị. Có nhiều phương pháp để sử dụng thông tin này trong việc lập kế hoạch kinh doanh; một trong số đó là Lý thuyết các điểm hạn chế [5], trong đó có nêu cân tập trung vào động lực chính đang làm tắc nghẽn toàn bộ dây chuyền sản xuất, trong khi mục tiêu chính là tối đa hóa Giá trị hiện tại ròng (“NPV”) của doanh nghiệp. Tuy nhiên, mục đích của bài báo này chỉ đơn giản là làm cho người chú ý về khả năng sử dụng các kỹ thuật lập kế hoạch kinh doanh này, thay vì phân tích chúng theo chiều sâu. Mục 3 và 4 mô tả các công cụ và quy trình, bao gồm mô hình hóa

địa chất và xếp hạng biên lợi nhuận, được lựa chọn để phù hợp với các quy trình khai thác quặng bô-xít và tinh chế alumin, vốn là một phần của quy trình lập kế hoạch khai thác mỏ.

### **3. Phương pháp**

Tác giả đã làm việc tại một số dự án bôxít trong vài năm qua, chủ yếu (nhưng không chỉ) các dự án ở giai đoạn phát triển ban đầu tại Ghi-nê hoặc A Rập Xê Út. Các kỹ thuật và phương pháp được trình bày dưới đây dựa trên sự trải nghiệm đó và được trình bày dưới dạng liệt kê các phương án để đạt được sản lượng tối ưu từ hoạt động lập kế hoạch khai thác, đặc biệt là đối với các hoạt động khai thác bô-xít.

#### **3.1. Lập mô hình địa chất**

Các mỏ bô-xít điển hình, đặc biệt là các mỏ ở Tây Phi, thường bao gồm các cao nguyên, được chia thành các khối khai thác nhỏ hơn. Có thể nói rằng loại phân bố này thường liên quan đến các mỏ có diện tích bề mặt lớn và có nguồn tài nguyên khoáng sản tiềm năng đáng kể. Các mỏ bô-xít này thường tạo thành các tầng khá bằng phẳng và dày với độ dày trung bình từ 4 m đến 6 m. Trong một số trường hợp, chúng cũng có thể có các mặt cắt thành phần hóa học thẳng đứng riêng biệt cần được phản ánh trong quá trình khai thác có chọn lọc để đưa ra các phẩm cấp sản phẩm nguyên khai phù hợp. Để đảm bảo lựa chọn được phương pháp phù hợp nhất, cần áp dụng phương pháp lập mô hình địa chất cho từng trường hợp so với các mục tiêu nghiên cứu. Nhìn chung, nên chọn một trong hai phương pháp được mô tả dưới đây, nhưng đối với phần lớn các dự án, lập mô hình lưới là phương pháp phù hợp nhất để đáp ứng các yêu cầu lập kế hoạch khai thác bô-xít.

##### **3.1.1. Lập mô hình lưới**

Không giống như mô hình địa chất 3D, theo Fardell, các mô hình vỉa hoặc lưới là các bề mặt 2D trong đó các vị trí X và Y nằm trên một lưới đều (tức là 25x25m) và “Z” là biến số (...).

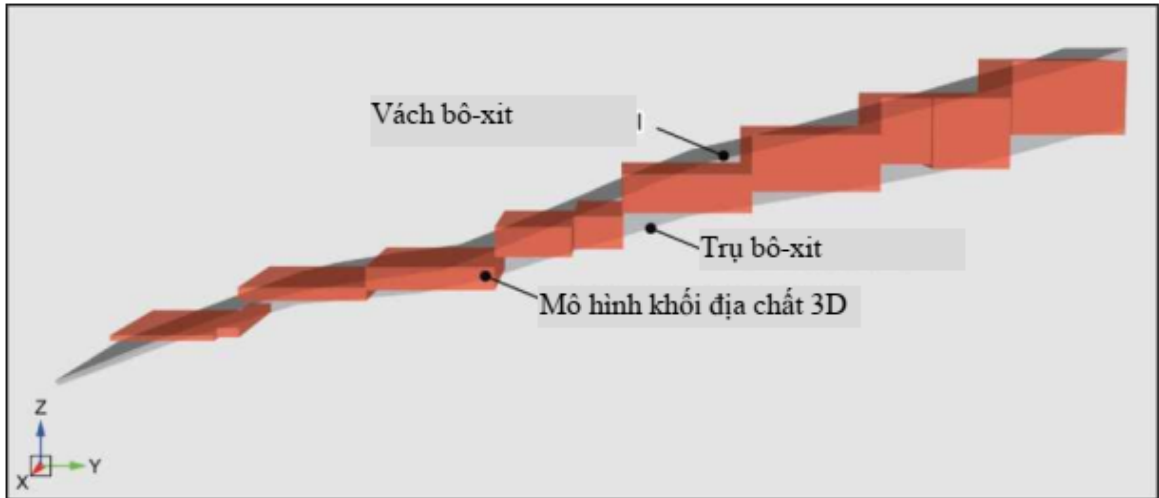
Các mô hình lưới là một tập hợp các tệp chứa thông tin có liên quan về các cấu trúc

địa chất và phẩm chất được chuyển thành các tập hợp số có thể đọc được cho các công cụ lập kế hoạch khai thác đối với ba giá trị: X, Y và biến số. Ví dụ, biến số có thể là thông tin về cốt cao, độ dày, phẩm cấp, độ dốc, loại quặng, v.v... của cấu trúc địa chất. Phương pháp này giúp các nhà lập kế hoạch khai thác có thể phân tích và áp dụng làm nghèo và tổn thất trong khai thác theo cách thức phù hợp cho loại mỏ này (ví dụ: lớp phủ làm nghèo). Các mô hình lưới được phủ dọc theo các bề mặt địa chất có thể hiện vách và trụ của các tầng, đem lại sự linh hoạt hơn nhiều trong việc lập mô hình. Quan trọng hơn, phương pháp này đem lại sự linh hoạt khi làm việc với các bề mặt hơn là các khối có kích thước và vị trí được xác định trước, có khả năng bất tiện khi làm việc với các tầng khoáng hóa rất mỏng, trong đó kích thước khối theo phương ngang lớn hơn nhiều so với kích thước khối theo hướng Z.

Mô hình khai thác là mô hình địa chất bao gồm các yếu tố thay đổi khai thác, chẳng hạn như làm nghèo và tổn thất khi khai thác. Khi lập mô hình khai thác, lý tưởng nhất là cuối cùng mô hình này sẽ bao gồm tất cả các yếu tố thay đổi liên quan đến quy trình lập kế hoạch khai thác. Không phải tất cả các mỏ bô-xít đều được hình thành từ các tầng khoáng hóa khác nhau cần ghép lại, nhưng ngay cả trong một lớp cũng có thể tạo ra sự khác biệt dựa trên phẩm cấp cao thấp. Trong quá trình ghép, các vỉa hoặc tầng mỏng được ghép với nhau hoặc loại bỏ, được xử lý như đất đá thải, dựa trên các thông số đầu vào như độ dày tối thiểu hoặc tỷ lệ đất đá thải so với quặng. Quá trình này tạo ra một tập hợp các lưới (một mô hình hoàn chỉnh) có phân bố các vị trí quặng và đất đá thải (hợp nhất) và phẩm chất liên quan, hiện bao gồm làm nghèo và tổn thất khi khai thác. Sau đó, các lưới này có thể được sử dụng trong quy trình lập kế hoạch khai thác, sau khi đã tính đến các khía cạnh yêu cầu về tính chọn lọc khai thác.

##### **3.1.2. Mô hình khối**

Việc sử dụng hình khối cho các quy trình lập kế hoạch khai thác thường được coi là



**Hình 2: Kích thước khối không phù hợp của mô hình địa chất**

giải pháp phù hợp và linh hoạt nhất. Chúng có thể dễ dàng được tra vấn bằng lưới. Tuy nhiên, việc sử dụng các mô hình khối cho cùng một tra vấn có thể gặp vấn đề trong trường hợp kích thước khối không khớp nhau hoặc quá lớn. Mặc dù có sẵn các trang thiết bị tính toán cần thiết, theo kinh nghiệm của tác giả, có thể thấy rằng để lập mô hình các tầng bô-xít tương đối mỏng với độ chính xác đủ để đáp ứng thông lệ quốc tế tốt nhất, kích thước khối (hoặc khối con, nếu sử dụng) sẽ cần phải rất nhỏ, quá nhỏ để mô hình hóa thực tế và ước tính nguồn tài nguyên và sẽ tạo ra kích thước tệp cực lớn. Ví dụ, một số dự án có kế hoạch làm nghèo khi khai thác tại vùng tiếp xúc giữa bô-xít và đất đá thải ở mức từ 10 cm đến 25 cm. Mặt khác, việc áp dụng các khối có kích thước lớn không phù hợp có thể dẫn đến các tình huống như được trình bày trong Hình 2, trong đó các mô hình khối rõ ràng không khớp với khung lưới địa chất, mở rộng ra ngoài địa chất hoặc không hoàn toàn thể hiện hình dạng của thân quặng, đặc biệt là khi có một số thay đổi về độ dày hoặc độ dốc.

Việc ghép các vỉa bằng các mô hình khối có thể thực hiện. Tuy nhiên, phương pháp này rất phức tạp và mất thời gian, do đó tác giả chưa bao giờ thử. Mặc dù có các phương pháp để giải quyết những vấn đề này, chẳng hạn như khi mô hình địa chất được xác định

bằng các kỹ thuật ít/không phù hợp với loại khoáng hóa, nhưng mục tiêu của bài báo này là nhằm hỗ trợ và hướng dẫn phương pháp thực hiện tốt nhất. Do vậy, các phương pháp đó sẽ không được thảo luận thêm. Về cơ bản, khai thác bô-xít nói chung là đơn giản và theo đó, các kỹ thuật giải quyết cao hơn thường không có sự bảo đảm.

Tất nhiên, có những trường hợp mô hình khối vẫn có thể phù hợp hoặc vẫn rất hữu ích và có thể áp dụng cho các dự án bô-xít. Trong trường hợp mỏ có cấu trúc khá đều đặn nhưng cần phải khai thác có chọn lọc, việc sử dụng phương pháp khai thác dựa trên khối vẫn có thể phù hợp hoặc bổ sung các phương pháp khác để hiểu được sự thay đổi phẩm cấp theo hướng thẳng đứng, v.v...

### **3.2. Xếp hạng biên lợi nhuận**

Trong các mỏ lộ thiên sâu, thông thường sẽ xác định độ sâu và hình dạng moong để giới hạn khối lượng quặng và đất đá thải dự kiến. Quá trình này được gọi là tối ưu hóa moong, thường dựa trên thuật toán Lerch-Grossman. Về cơ bản, thuật toán này tính toán giá trị dựa trên các điều kiện đầu vào và tạo ra hình dạng moong có tính kinh tế lớn nhất ở một mức giá kim loại nhất định. Tuy nhiên, các mỏ bô-xít có tính chất khác nhau (chúng chủ yếu là các thân quặng nằm ngang, nông và bao phủ diện tích bề mặt lớn, trong đó góc dốc đóng vai trò không

đáng kể) và phương pháp xác định giới hạn moong cũng hơi khác. Phương pháp thay thế phù hợp hơn, đó là xếp hạng biên lợi nhuận. Khái niệm của phương pháp này tương tự như tối ưu hóa moong thông thường, ngoại trừ giá trị kinh tế được tính cho toàn bộ cột khai thác thẳng đứng (do sử dụng các khối lập kế hoạch khai thác), bao gồm tất cả các yếu tố kỹ thuật và kinh tế có ảnh hưởng, như được thể hiện trong Hình 3. Theo cách này,

bằng cách xem xét một biểu đồ biểu diễn giá trị nói trên, các nhà lập kế hoạch có thể tránh sử dụng nhiều bản đồ (độ dày của quặng, độ dày đất đá thải, hệ số bóc, phẩm cấp).

Để tính toán giá trị kinh tế, trước tiên cần xác định khối lượng từng loại vật liệu cho mỗi khối khai thác và tầng địa chất, chẳng hạn như khối lượng đất đá thải cần loại bỏ, khối lượng quặng ở một phẩm cấp nhất định và lượng sản phẩm thu được có trong khối

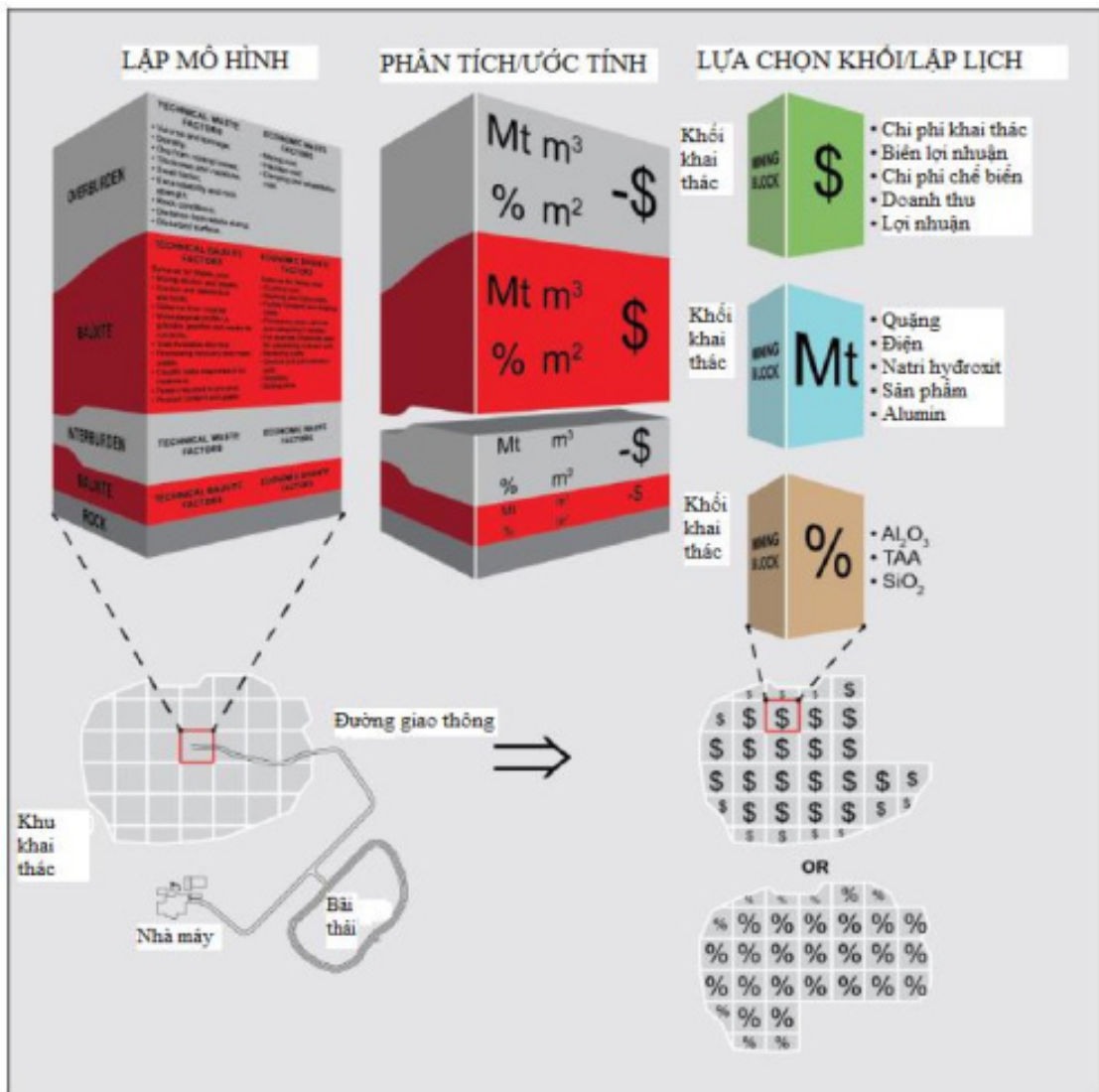
**Hình 3: Phương pháp xếp hạng biên lợi nhuận**

Đất đá phủ	Hệ số đất đá thải kỹ thuật	Hệ số đất đá thải kinh tế
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Khối lượng và trọng tải;</li> <li>• Mật độ;</li> <li>• Quặng từ tổn thất khi khai thác;</li> <li>• Độ dày và độ ẩm;</li> <li>• Hệ số trương nở;</li> <li>• Khả năng đào và cường độ đất đá;</li> <li>• Điều kiện đất đá;</li> <li>• Khoảng cách từ bãi thải;</li> <li>• Bề mặt biến dạng.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chi phí khai thác;</li> <li>• Chi phí vận chuyển;</li> <li>• Chi phí đổ thải và phục hồi.</li> </ul>
Bô-xit	Hệ số bô-xit kỹ thuật	Hệ số bô-xit kinh tế
	<p>Tương tự như đất đá thải, cộng thêm:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Làm nghèo và tổn thất khi khai thác;</li> <li>• Phẩm cấp và thành phần chứa tạp chất;</li> <li>• Khoảng cách từ máy nghiền;</li> <li>• Mặt cắt khoáng học, tức là hàm lượng gibbsite, goethite và boehmite;</li> <li>• Tổng alumin có sẵn;</li> <li>• Năng suất và thu hồi khi chế biến;</li> <li>• Yêu cầu natri hydroxit để xử lý;</li> <li>• Điện cần thiết để xử lý;</li> <li>• Hàm lượng và phẩm cấp sản phẩm.</li> </ul>	<p>Tương tự như đất đá thải, cộng thêm:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chi phí nghiền;</li> <li>• Chi phí tuyển rửa và sấy khô;</li> <li>• Chi phí gửi hàng và vận chuyển tiếp;</li> <li>• Chi phí chế biến, chia thành các loại nhỏ hơn nếu cần;</li> <li>• Ví dụ hóa chất dùng cho chế biến hoặc chi phí điện năng;</li> <li>• Chi phí tiếp thị;</li> <li>• Chi phí chung và quản lý;</li> <li>• Tiền thuê mỏ;</li> <li>• Giá bán.</li> </ul>
Đất đá xen kẹp	Hệ số đất đá thải kỹ thuật	Hệ số đất đá thải kinh tế
Bô-xit	Hệ số bô-xit kỹ thuật	Hệ số bô-xit kinh tế
Đất đá		

khai thác. Bước tiếp theo là phân bổ chi phí liên quan cho từng khối lượng và phẩm chất nhất định. Quy trình này phải bao gồm các thông số cho toàn bộ quy trình sản xuất sao cho giá trị thu được là phù hợp và là yếu tố thúc đẩy đáng tin cậy để đánh giá các giới hạn mong từ góc độ kinh tế. Các thông số có thể được chia thành các nhóm nhỏ đến một mức chỉ được giới hạn bởi tính sẵn có của dữ liệu. Khi đạt được điều này, tất cả các chi phí khác phát sinh sau sản xuất đều được phân bổ, bao gồm chi phí vận chuyển, tiền thuê mỏ, v.v., để cuối cùng xác định giá trị của tất cả các chi phí được tích lũy cho mỗi

cột và được thiết lập dựa trên doanh thu từ sản phẩm có trong đó. Điều này được trình bày ở Hình 4.

Bằng cách thực hiện phân tích xếp hạng biên lợi nhuận cho từng khối khai thác, người lập kế hoạch khai thác sẽ xác định được khu vực hoặc vỉa có tính kinh tế trong mỏ. Ví dụ, người ta có thể phát hiện ra rằng một số cột khai thác nên được chia theo chiều dọc để khai thác có chọn lọc hoặc chỉ các lớp trên cùng của thân quặng có tính kinh tế. Sau đó, thông tin này được sử dụng để tối ưu hóa trình tự/lập lịch khai thác, xác định các khối có giá trị cao nhất trong mỏ.



**Hình 4: Xác định giới hạn mong khai thác kinh tế và lập lịch**

Theo truyền thống, bước lập lịch sản xuất là một phần của quy trình lập kế hoạch khai thác (đặc biệt là dài hạn), bằng cách chủ yếu tính đến các đặc tính vật lý như tấn quặng và đất đá thải khô và ướt, khối lượng, phẩm cấp và các thành phần có hại, cũng như khoảng cách vận chuyển để tính toán nhu cầu xe tải. Tất cả các đặc tính này được phân bổ theo thời gian và không gian để tạo ra lịch sản xuất của mỏ, thường căn cứ vào các mục tiêu và chi phí sản xuất. Người ta thường cho rằng chi phí thấp đạt được bằng cách đẩy việc bóc tách đất đá thải vào cuối thời kỳ tuổi thọ mỏ và cố gắng đạt được phẩm cấp cao hơn ở thời kỳ đầu của tuổi thọ mỏ. Theo kinh nghiệm của tác giả, đây là phương pháp phổ biến nhất đối với hoạt động sản xuất bô-xít cho mục đích xuất khẩu; trong khi đối với sản xuất alumin, các phẩm cấp dự kiến sẽ duy trì ở mức không đổi. Bằng cách áp dụng các mối quan hệ giữa quặng và sản phẩm cuối cùng, và giữa chi phí và doanh thu, người lập kế hoạch khai thác có thể đưa vào khía cạnh kinh tế ngoài quy trình khai thác và có lẽ xác định rằng việc tri hoãn bóc tách đất đá thải không nhất thiết là phương án kinh tế nhất, đặc biệt khi có nhiều quặng giàu hơn (nhiều sản phẩm hơn) trong khu vực có hệ số bóc cao hơn. Nói tóm lại, trong bất cứ trường hợp nào, một dự án không chỉ tập trung vào một động lực lập kế hoạch khai thác mà phải xem xét nhiều thông số khác nhau và phân tích ảnh hưởng của chúng đối với dự án.

#### **4. Kết luận**

Khai thác bô-xít thường được coi là khá đơn giản, với chi phí khai thác liên quan tương đối thấp so với các công đoạn tiếp theo của dây chuyền sản xuất, bao gồm chế biến, vận chuyển và logistics. Tuy nhiên, công tác lập kế hoạch khai thác hợp lý cho phép người ta kiểm soát các động lực kinh tế từ giai đoạn đầu phát triển dự án và trong quá trình khai thác một cách dễ dàng. Điều cơ bản đối với toàn bộ hoạt động và trước khi bắt đầu bất kỳ công việc kỹ thuật nào, là phải xác định các mục tiêu kinh doanh. Trong hầu hết các trường hợp, câu trả lời cho

câu hỏi đó là tạo ra lợi nhuận, nhưng trên cơ sở từng trường hợp cụ thể, điều này có thể đạt được theo những cách khác nhau. Các yếu tố thay đổi khai thác luôn là một phần của quy trình, bất kể sản phẩm có thể bán được cuối cùng là gì. Hai yếu tố, tồn thất và làm nghèo, được sử dụng để chuyển đổi mô hình địa chất thành mô hình khai thác và có thể được đưa vào bằng cách sử dụng các kỹ thuật phù hợp, không chỉ phụ thuộc vào định dạng của mô hình hiện có mà quan trọng hơn là mô hình phù hợp nhất với một mỏ có địa chất nhất định. Có thể kết luận rằng, đối với việc lập kế hoạch khai thác bô-xít, các mô hình lưới có lẽ là linh hoạt nhất khi sử dụng. Có một số công cụ rất tốt được thiết kế để áp dụng cho loại mỏ này và chúng thường có ít hạn chế hơn so với các mô hình khối, bao gồm kỹ thuật xếp hạng biên lợi nhuận và công cụ ghép vĩa. Mặt khác, ngày nay, các mô hình lưới dường như ít phổ biến hơn nên việc xác định những công cụ có kỹ năng cần thiết để tạo lưới sẽ không hề đơn giản. Sau khi mô hình được thiết lập, bước tiếp theo là cần xác định giới hạn moong dựa trên các yếu tố kinh tế và công nghệ. Nếu người ta xác định được lợi nhuận của từng khối khai thác trong dự án/hoạt động khai thác thì quy trình lập kế hoạch khai thác sẽ đơn giản hơn. Tuy nhiên, để làm cho kế hoạch có tính thực tế và có thể áp dụng, cần có một bộ thông số đầu vào đầy đủ và chính xác cho toàn bộ dây chuyền sản xuất và phân chia thành các nhóm thông số con theo mức độ chi tiết cần thiết. Một giải pháp tối ưu chỉ có thể đạt được khi tất cả các thông tin kỹ thuật và kinh tế đầu vào quan trọng được sử dụng trong xếp hạng biên lợi nhuận để xác định giới hạn moong khai thác và hướng dẫn việc lập lịch sản xuất của mỏ. Do đó, tác giả khuyến nghị nên rà soát định kỳ các thông số đầu vào, các yếu tố thay đổi và các yếu tố xếp hạng biên lợi nhuận trong suốt quá trình triển khai và tuổi thọ của dự án để đưa vào các dữ liệu được tạo ra liên tục, phù hợp với các điều kiện kỹ thuật hoặc thị trường hiện tại.

# Ứng dụng kỹ thuật nhận biết tầm nhìn thông minh ai trong mỏ than thông minh

Nguồn: Kỳ 4 quyền 55 – Công trình Than Trung Quốc

>> CN. Nguyễn Mai Hoa, Công ty CP Tư vấn đầu tư mỏ và công nghiệp - Vinacommin (Biên dịch)

**Tóm tắt:** Để nâng cao khả năng và trình độ xử lý an toàn sản xuất mỏ than, thúc đẩy ngành than phát triển an toàn, chất lượng cao, trên cơ sở ứng dụng kỹ thuật thông minh AI, bài viết đề xuất khung tổng thể hệ thống nhận dạng thông minh AI và mục tiêu thực hiện, đồng thời xây dựng phương án giải quyết tổng thể nhận dạng thông minh AI ở mỏ thông minh và thiết kế nền tảng phân tích thông minh AI. Nền tảng này lấy công nghệ AI làm cốt lõi và được hỗ trợ bởi các mô hình toán học deep learning và hệ thống cảnh báo. Nó sử dụng thuật toán thị giác máy để phân tích hành vi của con người, trạng thái thiết bị, trạng thái môi trường, hoạt động không chuẩn, hoạt động có rủi ro cao theo thời gian thực trong nhiều tình huống hoạt động trên và dưới lò mỏ than, hình thành mô hình ứng dụng thị giác thông minh phần mềm + máy chủ, Thông qua phân tích thị giác máy + đối chiếu hỗ trợ thủ công, phân tích chính xác các sự kiện bất thường, cảnh báo sớm thông minh, theo dõi thời gian thực, dừng tại chỗ, khóa liên động, thực hiện chuyển đổi từ phòng thủ dân sự sang phòng thủ kỹ thuật. Nó có ý nghĩa định hướng trong việc cải thiện khả năng đảm bảo an toàn sản xuất mỏ than cũng như tìm ra phương hướng xây dựng mô hình quản lý an toàn từ xa thông minh và trực quan.

**Abstract:** In order to improve the ability and level of coal mine safety production governance and promote the safe and highquality development of the coal industry. On the basis of analyzing the application of AI technology, the overall framework and realization goal of AI identification system are proposed, the overall solution of AI identification of intelligent mines is established, and the AI analysis platform is designed. The platform takes AI technology as the core, supported by machine deep learning mathematical model and alarm system, real - time analysis of personnel behavior, equipment status, environmental status, non-standard operations, high-risk operations area realized in multi-operation scenarios in coal mines through machine vision algorithms, forming a software+server intelligent vision application mode, accurate analysis of abnormal events, intelligent early warning, real-time tracking, on-site stopping, interlocking linkage can be achieved, through machine vision analysis and manual assisted proofreading, realizing the transformation from civil air defense to technical defense. It is of guiding significance to improve the safety production guarantee capacity of coal mines and explore the construction of a visualized and intelligent remote safety management mode.

Trong thế kỷ 21, trí tuệ nhân tạo đang trở thành công cụ đắc lực cho sự phát triển kinh tế, xã hội của con người, mang lại những thay đổi to lớn cho xã hội, kinh tế và đời sống. Trí tuệ nhân tạo đòi hỏi sự hợp tác sâu rộng giữa các lĩnh vực về quy trình nghiệp vụ, hệ thống thông tin, hệ thống sản xuất của các ngành mới có thể tạo ra giá trị. Đóng vai trò là ngành năng lượng cơ bản của đất nước, khai thác than cũng là một ngành truyền thống có rủi ro cao. Sự phát triển không cân

đôi và chưa đầy đủ là vấn đề vẫn còn nổi cộm, do đó, nên tiên phong thúc đẩy tích hợp trí tuệ nhân tạo với ngành than một cách toàn diện và liên kết để nắm bắt những tối ưu trong việc chuyển đổi, nâng cấp ngành sản xuất truyền thống, nâng cao năng suất. Đây là yêu cầu tất yếu để thúc đẩy hiện đại hóa hệ thống quản lý an toàn sản xuất mỏ than và năng lực quản trị. Và đây cũng là lựa chọn tất yếu để tìm ra mô hình thực tiễn mới quản lý bằng trí tuệ nhân tạo ở tầng quản lý an



toàn sản xuất than.

An toàn sản xuất luôn là vấn đề cốt lõi của mỏ than, xuất phát điểm và đích đến của xây dựng thông minh hóa đều xoay quanh triển khai an toàn mỏ than, lối thoát đề thay đổi an toàn dựa vào kỹ thuật tiên tiến. Đồng thời, trong bối cảnh xây dựng mỏ thông minh, việc phát triển các vị trí cố định trong lò không có người trực ban tác nghiệp, hệ thống giám sát, kiểm tra, dự báo lỗi gương thành lò, chống va đập dầm co giãn, kiểm tra tải trọng dòng than cũng đặt ra nhu cầu bức thiết tương tự như đối với kỹ thuật nhận biết thông minh AI. Để thúc đẩy phát triển hòa nhập giữa kỹ thuật thông minh AI và an toàn sản xuất, nâng cao trình độ sản xuất an toàn mỏ than, thúc đẩy thông minh hóa quản lý an toàn của đơn vị, tầm nhìn hóa quản lý hiện trường, tăng cường doanh nghiệp thực hiện trách nhiệm chủ thể an toàn sản xuất, nâng cao khả năng xử lý tổng hợp an toàn sản xuất, nâng cao toàn diện trình độ an toàn bản chất của doanh nghiệp, không thể không thúc đẩy rộng rãi “kỹ thuật nhận dạng AI ở mỏ thông minh”.

## **1 Thiết kế hệ thống nhận biết thông minh AI**

### **1.1 Khung tổng thể hệ thống nhận biết thông minh AI**

Cấu trúc tổng thể kỹ thuật nhận dạng thông minh AI xem hình 1. Theo cấu trúc từ trên xuống dưới, được chia thành 5 tầng, chủ yếu bao gồm: tầng hiển thị, tầng ứng dụng, tầng nền tảng, tầng hỗ trợ và truyền dẫn phân cứng và tầng nhận dạng.

Tầng nhận dạng: là đầu cuối thu thập thông tin, dùng để nhận biết vật thể từ bên ngoài và thu thập thông tin, chủ yếu sử dụng phương pháp thông tin hóa để thực hiện thu thập và phân tích dữ liệu về người, máy, vật liệu, phương pháp, chu kỳ. Đồng thời, hệ thống cũng có thể kết nối các dữ liệu của các bộ cảm biến làm nguồn dữ liệu, cung cấp dịch vụ nhận dạng cho tầng tính toán.

Tầng hỗ trợ và truyền dẫn phân cứng: Hệ thống tổng thể kết nối với mạng vòng hiện có của công ty hoặc bổ sung thêm thiết bị truyền dẫn 4G, 5G và Wi-Fi để kết nối với

mạng truyền dẫn có dây hoặc không dây trong lò. Các camera và máy phân tích thông minh được sử dụng trong hệ thống đều cung cấp kết nối TCP/IP, tín hiệu hình ảnh và video có thể được truyền đến ứng dụng mặt đất và tầng hiển thị thông qua các giao thức như ONVIF.

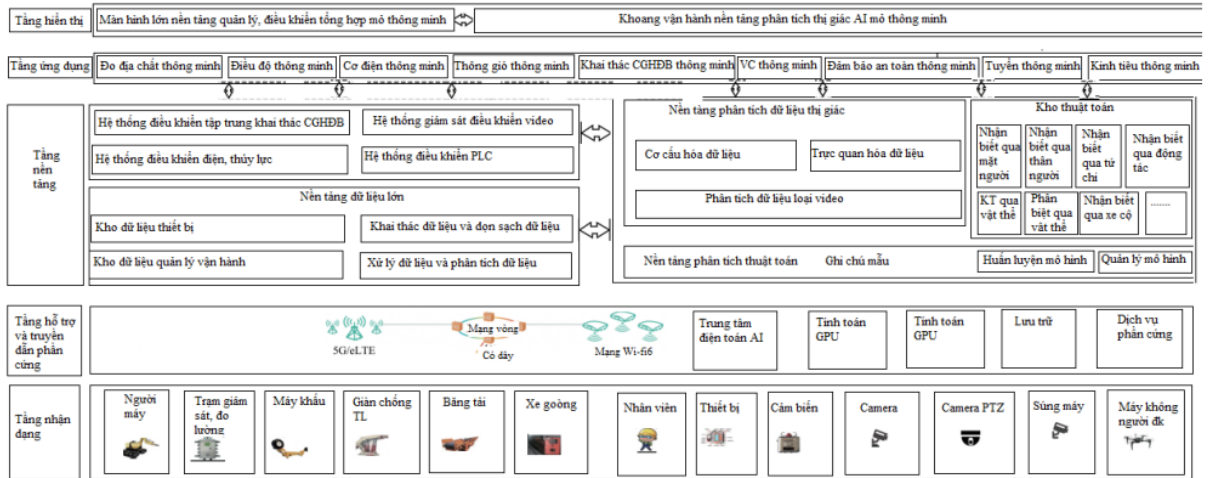
Tầng nền tảng: Tầng nền tảng chủ yếu là nền tảng trao quyền cho AI, bao gồm nền tảng phân tích dữ liệu trực quan và kho thuật toán. Kho thuật toán bao gồm các chức năng quản lý thuật toán, cung cấp chức năng điều độ của các thuật toán hiện có, đồng thời vẫn giữ lại chức năng tải thuật toán để hỗ trợ cập nhật thuật toán trong tương lai.

Tầng ứng dụng: Thông qua sử dụng cổng API tiêu chuẩn được cung cấp bởi tầng công cụ thuật toán để thực hiện thuật toán trí tuệ nhân tạo đa dạng hóa ứng dụng trong các mỏ than như: khai thác CGHĐB thông minh, đào lò thông minh, vận chuyển thông minh và công viên thông minh, đồng thời cũng có thể kết nối các hệ thống nghiệp vụ khác, như chụp ảnh xe, cảnh báo vượt quá tốc độ, quản lý hệ thống cấm ra vào và quản lý chuyên cần.

Tầng hiển thị: Bảng hiển thị toàn diện bao gồm hiển thị các thông tin: điều khiển mặt trước, tổng thiết bị, trạng thái thiết bị, khối lượng ảnh chụp nhanh hôm nay, thông tin cảnh báo sự kiện, tra cứu ghi hình, quản lý lưu trữ, đồng thời cũng có thể được coi là đầu vào dữ liệu, hiển thị trong màn hình lớn tổng hợp thống nhất dữ liệu đến mỏ than.

### **1.2 Mục tiêu thực hiện kỹ thuật nhận biết thông minh AI**

Cùng với sự phát triển tốc độ nhanh của xây dựng mỏ thông minh cũng đặt ra yêu cầu cao hơn đối với an toàn sản xuất mỏ than trong tình hình mới, vấn đề sản xuất an toàn đã trở thành khâu cực kỳ quan trọng. Hơn nữa, trong đó có hành vi không an toàn của con người, trạng thái không an toàn của vật là 2 yếu tố tiềm ẩn rủi ro rất lớn, nguyên nhân gây ra sự cố là do hành vi không an toàn trong quá trình sản xuất của công nhân, chẳng hạn như không đội mũ bảo hiểm, vi phạm, đột nhập trái phép vào khu vực trọng



điểm; và trạng thái không an toàn của vật, như bất thường trong luồng than thiết bị sản xuất, than tắc trong máng rót, bất thường trong vận chuyển thiết bị. Mục tiêu thực hiện của kỹ thuật nhận dạng thông minh AI là: lấy việc bảo đảm các hành vi không an toàn của con người và trạng thái an toàn của đồ vật làm điểm khởi đầu, tích hợp sâu thị giác máy với các quy tắc giám sát cho các tình huống nghiệp vụ trên, dưới lò mổ than và lấy tình huống làm đơn vị xác định các quy tắc giám sát video, đáp ứng yêu cầu thông minh hóa đối với khu vực công viên thông minh trên mặt bằng, khai thác, đào lò, vận chuyển, thông gió trong lò, nhằm thực hiện phân tích thông minh bằng máy + đối chiếu phụ trợ thủ công để đưa ra cảnh báo chính xác. Đồng thời, xây dựng cơ chế quản lý khép kín để xử lý các sự cố bất thường nhằm hình thành cơ chế quản lý khép kín “cảnh báo -đẩy thông tin đi-xử lý-phản hồi-thông kê” đối với các sự cố an toàn mỏ than, nhằm đẩy đi chính xác sự kiện bất thường, xử lý tốc độ nhanh có hiệu quả, cuối cùng đạt được mục tiêu ngăn chặn theo thời gian thực hoặc chấm dứt kịp thời các sự kiện bất thường và phát sinh sự cố liên quan đến sản xuất, tiết kiệm nhân lực và tiêu thụ vật liệu, giảm chi phí, nâng cao hiệu quả và thực hiện chuyển đổi quản lý an toàn mỏ than từ phòng ngừa con người sang phòng ngừa kỹ thuật, từ trực giác đến nhận thức.

### 1.3 Phương án giải quyết bằng phân

### tích nhận dạng thông minh AI ở mỏ thông minh

#### 1.3.1 Phương án giải quyết tổng thể nhận dạng thông minh AI ở mỏ thông minh

Phương án giải quyết tổng thể nhận dạng thông minh AI ở mỏ thông minh bao gồm 3 tầng hệ thống cấu trúc: tầng quản lý cấp tập đoàn, tầng quản lý mỏ than, tầng tình huống nghiệp vụ.

Tầng quản lý cấp tập đoàn: Trụ sở chính của tập đoàn triển khai nền tảng quản lý toàn diện để thu nhận dữ liệu được tổng hợp từ các mỏ than, thực hiện quản lý dữ liệu, phân tích dữ liệu, hiển thị màn hình lớn và giám sát các chức năng của từng mỏ than, thích ứng với trạng thái băng thông rộng hiện có và thực hiện điều khiển giám sát thời gian thực tất cả các video, điều chỉnh theo nhu cầu.

#### Tầng quản lý cấp mỏ than:

Mỗi mỏ than triển khai một nền tảng con cho mỏ thông minh. Máy chủ được tích hợp nhiều mô hình thuật toán, bao gồm camera cho các tình huống khác nhau như trên mặt bằng, lò chợ trong lò, vận chuyển băng tải, để thực hiện tính toán công suất điện toán, thống kê, quản lý dữ liệu các mỏ than. Các camera được triển khai trên mặt bằng, trong lò được kết nối trực tiếp với nền tảng con và nền tảng con thực hiện phân tích thông minh. Sau khi các mỏ than phân tích, tổng hợp dữ liệu, tiến hành quản lý, kiểm soát thống nhất từ tuyến riêng đến trung tâm

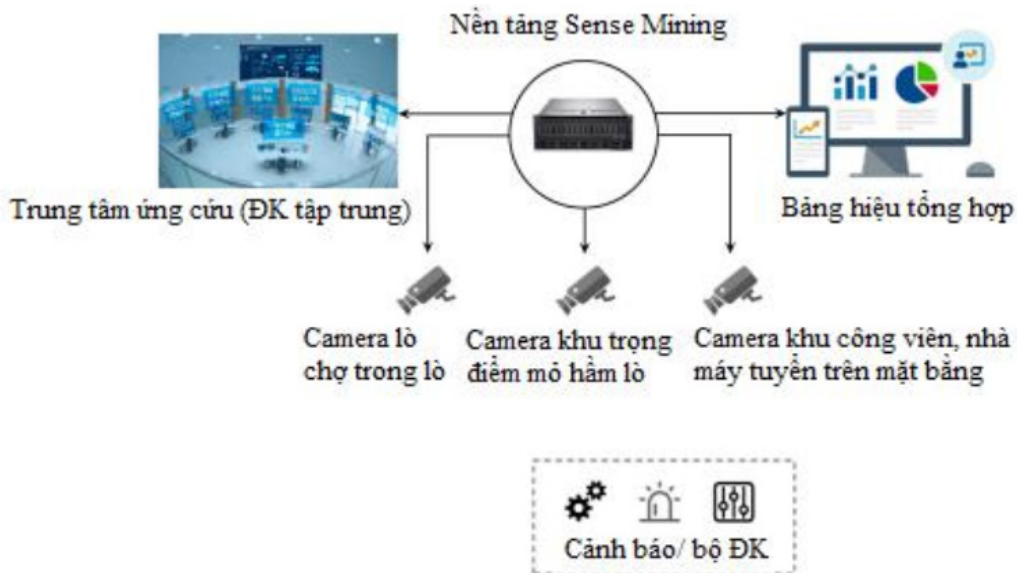
thông tin.

Tăngtính hướng nghiệp vụ (kịch bản công việc): Trung tâm điều khiển tập trung trong lò triển khai một máy chủ điện toán biên chuyên dụng trong lò để thu thập và phân tích các camera được triển khai trong toàn bộ mỏ than theo thời gian thực dựa trên các thuật toán tùy chỉnh cảnh. Nó có chức năng độ trễ thấp. Dữ liệu được phân tích theo thời gian thực bằng các thuật toán tiêu chuẩn không lồ của kho thuật toán trong các kịch bản công việc đều được truy cập đến nền tảng con của các mỏ thông qua mạng vòng công nghiệp.

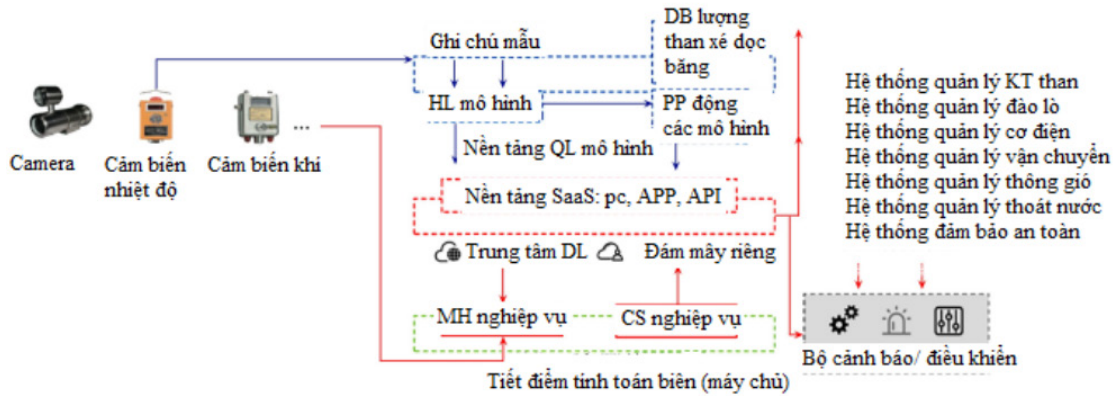
1.3.2 Giải pháp thông minh AI dựa trên kịch bản

Giải pháp thông minh AI dựa trên kịch bản trong lò mỏ than sử dụng phương án đám mây biên, phương án bao gồm mô hình phần mềm + máy chủ (như hình 2), có thể phân loại, phân cấp để tăng thiết bị thuật toán biên tương ứng theo nhu cầu kịch bản công việc cụ thể, nhằm đáp ứng ứng dụng linh hoạt của nhiều loại kịch bản trên, trong lò, vừa có thể tổng hợp thực hiện vừa có thể triển khai độc lập

Phương pháp thực hiện là triển khai một nền tảng khai thác thông minh trong phòng máy của mỏ than (như trong Hình 3), máy chủ được cài đặt sẵn nhiều mô hình thuật toán, bao gồm các camera ở các vị trí khác nhau như công viên thông minh trên mặt bằng, khai thác CGHĐB trong lò, lò chợ đào CGHĐB, vận chuyển băng tải, thông gió, thoát nước, đảm bảo an toàn, để thực hiện tính toán công suất điện toán, thống kê dữ liệu và quản lý từng mỏ than... Trong số đó, camera trên mặt bằng và trong lò được kết nối trực tiếp với nền tảng và nền tảng thực hiện phân tích thông minh. Máy chủ nhập thông tin cảnh báo thông qua giao diện API và điều khiển bộ điều khiển cảnh báo âm thanh, ánh sáng tại chỗ, đưa ra cảnh báo nhanh chóng cho công nhân trên, trong lò, Đồng thời, hệ thống sẽ ghi lại, hiển thị và thực hiện bật lên cảnh báo, đồng thời đưa chúng trở lại màn hình lớn của trung tâm cấp cứu để đảm bảo công nhân trên, trong lò xử lý kịp thời (như trong Hình 4)



Hình 2 Phương án giải quyết thông minh bằng AI theo tình huống



Hình 3. Nền tảng nhận dạng thông minh



Hình 4. Lưu trình xử lý sự kiện quan trọng thu được tự động bằng nền tảng AI

2 Kịch bản ứng dụng điển hình kỹ thuật nhận dạng thông minh AI ở mỏ thông minh

2.1 Ứng dụng video thông minh AI trong lò chợ CGHĐB

Chuỗi thuật toán dành cho lò chợ CGHĐB dựa trên công nghệ trực quan để đạt được khả năng giám sát toàn diện lò chợ, đồng thời, chúng cũng có thể giám sát trạng thái vận hành của từng thiết bị một cách thông minh và hợp tác với hoạt động tự động của máy khâu than, giàn chống thủy lực, máng cào để hoàn thành quá trình vận hành tự động không người lái của thiết bị (xem Bảng 1). Ứng dụng này trích xuất các hình ảnh giám sát được bao phủ bởi camera PTZ và sử dụng thuật toán nền của máy học để phân tích thông tin hình ảnh trong thời gian thực (như trong Hình 5). Các kịch bản cốt lõi của kết quả phân tích bao gồm theo dõi camera tự động và nhận dạng trạng thái máy khâu,

trạng thái đóng mở của tấm chắn đỡ thủy lực, trạng thái lệch của máng cào, cảnh báo nhân viên đi vào khu vực nguy hiểm vi phạm quy định và các thông tin cảnh báo đồng thời được đẩy lên nền tảng quản lý mỏ than, nền tảng quản lý và kiểm soát toàn diện của tập đoàn (nhóm), bố trí nhân viên liên quan xử lý tại chỗ.



Hình 5 Hình ảnh phân tích thời gian thực lò chợ CGHĐB

## 2.2 Ứng dụng kịch bản video thông minh AI ở gương đào lò

Hàng loạt thuật toán gương đào lò thông nhất với lò chợ CGHĐB về mặt nguyên tắc thực hiện. Lấy thuật toán cảnh báo giám sát đo lường nhận dạng thông minh hỗ trợ tạm thời gương đào lò làm ví dụ (xem bảng 1). Thuật toán này có nhiều điểm cần được đánh giá:

Trước tiên là phán đoán xem trong hình ảnh hiện tại có người đang gõ thành lò không (nhận dạng bằng gõ thành nóc lò, 2 người, 1 người làm việc, 1 người quan sát), trong quá trình nhận dạng đối với động tác gõ thành nóc lò, chủ yếu sử dụng phương pháp quan sát thân người, phân tích tư thế, phán đoán tư thế (hình 6), đồng thời đánh giá xem có vật thể hình que và người trong hình ảnh có chuyển động đồng thời không, để nâng cao độ chính xác của thuật toán.



**Hình 6. "Nhận biết tư thế" "Dự báo tư thế" thuật toán công nghệ gõ thành thăm dò nóc**

## 2.3 Ứng dụng cảnh video thông minh AI cho hệ thống vận chuyển

Hệ thống vận chuyển là huyết mạch của hệ thống sản xuất mỏ than. Khi hệ thống vận chuyển xảy ra sự cố thì sẽ ảnh hưởng đến sự vận hành bình thường của toàn bộ mỏ, các khâu vận chuyển dễ xuất hiện các vấn đề như xé rách băng, kẹt dị vật, công nhân vi phạm nơi qui định, đi vào khu vực nguy hiểm. Cảnh ứng dụng video thông minh AI của hệ thống vận chuyển xem bảng 2.

## 2.4 Ứng dụng cảnh video thông minh AI khu vực trọng điểm trong lò

1) Kiểm tra công nhân chưa mang mũ bảo hiểm.

Tiến hành huấn luyện và học tập về video giám sát điều khiễncông nhân tác nghiệp, để

mô hình có thể nhận dạng được có đội mũ an toàn không, tạo ra mô hình thông minh nhân tạo phù hợp để kiểm tra hành vi an toàn của các công nhân tác nghiệp. Xác định tình trạng mặc, mang trang phục của công nhân trong khu vực giám sát video, đồng thời đưa dữ liệu thời gian thực trở lại nền tảng, có còi báo động và lời nhắc bằng giọng nói để công nhân có mặt tại hiện trường kịp thời đưa ra xử lý cảnh báo, nhắc nhở công nhân trong trường hợp khẩn cấp về an toàn, tránh công nhân có hành vi qui phạm qui định, đảm bảo an toàn tính mạng công nhân.

2) Quy định kiểm tra đối với người kiểm tra. Dựa trên thuật toán AI, đối với yêu cầu đã phát đi kiểm tra (chẳng hạn như thời gianqui định kiểm tra), nhưng chưa kiểm tra được nhân viên quản lý an toàn đến vị trí kiểm tra hay chưa, thông báo thông tin bất thường cho người quản lý, đồng thời thông tin cảnh báo được truyền đến hệ thống nghiệp vụ, tiến hành cảnh báo trong thời gian thực.

3) Ứng dụng video thông minh AI để quản lý "hành vi không an toàn"

Giám sát thời gian thực đối với hành vi của nhân viên ở khu vực trọng điểm, nếu phát hiện hành vi không an toàn, kịp thời chụp ảnh và cảnh báo, đồng thời lập sơ đồ thống kê, tiện cho việc ra chính sách quản lý an toàn.

## 2.5 Ứng dụng video thông minh hàng rào điện tử I

Lắp đầu camera ở vị trí quan trọng của mỏ, đồng thời thông qua đầu cuối tính toán thông minh bố trí trước đó, tiến hành phân tích thời gian thực đối với dữ liệu video giám sát, điều khiển, đưa kết quả phân tích từ cổng Internet thống nhất của Cục khoáng sản địa phương đến cơ quan quản lý giám sát an toàn mỏ than cấp tỉnh, rồi trung chuyển, nối vào nền tảng quản lý, giám sát thông minh "thư điện tử" của mỏ trên toàn quốc.

## 2.6 Ứng dụng kịch bản công viên thông minh AI

Dựa trên khả năng phân định khu vực và nghiên cứu vượt qua ranh giới của dịch vụ phân tích thuật toán cảnh, kết hợp với hệ thống quản lý toàn diện "độ phân giải

**Bảng 1 Cảnh ứng dụng video thông minh AI lò chợ CGHĐB**

Loại thuật toán	Cảnh cụ thể	Thuyết minh thuật toán
CGHĐB thông minh	Nhận dạng và theo dõi trạng thái máy khâu	Giám sát, đo lường thời gian thực vị trí tang trước, sau của máy khâu, chiều cao tang, hướng vận động, trạng thái mở/ dừng máy
	Nhận dạng và theo dõi trạng thái chống giữ giàn chống thủy lực	Giám sát đóng, mở tấm bảo vệ thành lò chợ, trạng thái lò gương
	Nhận dạng và cảnh báo than cục to máng cào	Giám sát máng cào có ở trong trạng thái vận hành bình thường không
	Nhận dạng lượng than máng cào vận chuyển	Giám sát đo lường lượng than vận chuyển bằng máng cào, tự động báo động nếu vượt ngưỡng
	Tự động theo dõi dựa trên nền tảng nhiều đám mây và quét điểm mù	Thực hiện liên động nhiều camera lò chợ CGHĐB trong quá trình phân tích thông minh, bao phủ chéo vùng mù
	Nhận dạng đứt xích, kéo nghêng và cảnh báo máng cào	Giám sát đo lường xích vòng máng cào có ở trạng thái vận hành bình thường không
	Căn chỉnh toàn bộ lò chợ CGHĐB	Bằng cách trích xuất hình ảnh giám sát được bao phủ bởi camera PTZ, thuật toán học máy được sử dụng để phân tích độ lệch của thanh đẩy giàn chống thủy lực trong thời gian thực và dữ liệu này được gửi đến hệ thống điều khiển tập trung và việc điều chỉnh và điều khiển độ lệch thanh đẩy do điều khiển tập trung và điều khiển điện, thủy lực thực hiện, cuối cùng thực hiện nắn thẳng lò chợ CGHĐB
Công nhân vi phạm quy định đi vào khu vực nguy hiểm	Chức năng thuật toán phân tích video xác định vị trí của máy khâu. Hệ thống đẩy cảnh báo lên nền tảng thông qua vị trí máy khâu, xác định khu vực nguy hiểm, phân tích thời gian thực vị trí thời gian thực của công nhân, số lượng công nhân và tình hình đi vào khu vực nguy hiểm, đồng thời đưa ra cảnh báo bằng âm thanh và ánh sáng tại chỗ, nhắc nhở mọi người rời đi.	
Đào lò	Gỡ thành lò, thăm dò nóc lò, khảo sát trước	Giám sát đo lường thời gian thực toàn bộ quá trình tác nghiệp, đảm bảo gương đào lò tác nghiệp theo qui định.

cao, thông minh, nối mạng, tích hợp", việc sử dụng các phương tiện tin học hóa để đạt được việc thu thập và phân tích dữ liệu thông tin về con người, xe cộ, đồ vật và thiết bị, áp dụng các chính sách giám sát, điều khiển khác nhau đối với các kịch bản công viên khác nhau để đạt được sự giám sát toàn diện cho toàn bộ công viên, nêu bật các khái

niệm xây dựng về phòng ngừa trước, cảnh báo an ninh và quản lý mạng toàn diện, giảm đầu tư vào đảm bảo an toàn nhân viên, giảm độ phức tạp của việc sử dụng hệ thống và cải thiện khả năng tích hợp chỉ huy, điều độ, thực hiện quản lý mạng lưới thống nhất về xây dựng an ninh công viên (xem bảng 3).

**3.Hiệu quả ứng dụng kỹ thuật nhận**

**Bảng 2 Cảnh ứng dụng video thông minh AI của hệ thống vận chuyển**

Loại thuật toán	Cảnh cụ thể	Thuyết minh thuật toán
Hệ thống vận chuyển	Điều tốc thông minh băng tải	Dựa vào tỷ lệ phần trăm tải vật thời gian thực của băng tải, thông qua nhận dạng tốc độ và lượng than trên băng tải, trích xuất được hình ảnh thời gian thực giám sát, điều khiển phía trên băng, thuật toán nền được học bằng máy được sử dụng để nhận dạng thời gian thực của lượng than trên băng tải, thông qua các lệnh điều khiển được phát đi đến bộ biến tần PLC, từ đó thực hiện điều tốc thông minh 5 cấp độ đối với băng tải (bao gồm vận hành chạy roda không tải) để tiết kiệm năng lượng, giảm mức tiêu thụ và giảm hao mòn thiết bị.
	Kiểm tra, đo lường than cục và dị vật trên băng tải	Giám sát, đo lường thời gian thực bằng camera bố trí dọc băng tải, sử dụng công nghệ thị giác học sâu, tính toán biên, tiến hành nhận biết thông minh đối với than cục và dị vật trên băng tải như vì neo, lưới thép trong quá trình vận hành băng tải, tiến hành điều khiển thông minh PLC theo kết quả đo, kiểm tra, đồng thời thông qua phương thức cảnh báo bằng âm thanh, ánh sáng, hiển thị màn hình LED, đẩy đi thông tin đầu di động để nhắc nhở người vận hành băng tải xử lý kịp thời.
	Đo, kiểm tra chạy lệch băng	Nhận dạng thay đổi khoảng cách biên trái, phải của băng tải và con lăn để xác định trong thời gian thực băng tải có chạy lệch băng không
	Kiểm tra, đo lường nhân viên vi phạm đi vào khu vực băng tải	Tiến hành chia khu vực hoặc xác định khu vực nguy hiểm trong phạm vi giám sát, đo lường bằng video. Khi xuất hiện nhân viên vi phạm đi vào khu vực nguy hiểm, nếu có các hành vi phạm như đi vào, vượt qua, di chuyển thì phải đưa ra cảnh báo, nhắc nhở mọi người tránh xa.

**dạng thông minh AI**

Thông qua việc triển khai công nghệ nhận dạng thông minh AI, khả năng phát triển đa dạng thông minh của các mỏ than được cải thiện hơn, khối lượng công việc dư thừa được giảm bớt và việc quản lý thông minh các mỏ than như có thể quan sát, đo lường và kiểm soát đạt đến một tầm cao mới, tạo một bước tiến vững chắc hướng tới bước phát triển mỏ thông minh.

Hiệu quả ứng dụng chủ yếu đạt được:

1) Dựa trên mô hình ban đầu của các kịch bản nghiệp vụ phức tạp trong các mỏ than, một mô hình thuật toán tùy chỉnh đã được thiết lập để hiện thực hóa các thuật toán tiêu chuẩn không lỗi của kho thuật toán. Các

thuật toán khác nhau có thể được tải theo nhu cầu thực tế trong các kịch bản nghiệp vụ tương tự. Cùng một nền tảng có thể cung cấp khoảng 200 thuật toán khác nhau, hiện thực hóa một kênh video, nhiều phân tích, giảm độ khó thích ứng và đạt được hiệu suất vận hành và độ chính xác suy luận tốt nhất.

2) Lần đầu tiên, đề xuất tích hợp sâu thị giác máy với các quy tắc giám sát cho các kịch bản nghiệp vụ lên xuống hầm lò trong các mỏ thông minh. Các quy tắc giám sát video được xác định theo đơn vị kịch bản, thông qua "phân tích thông minh của máy + đối chiếu bằng hỗ trợ thủ công" để thực hiện cảnh báo chính xác, nâng cao độ chính xác nhận dạng mô hình.

**Bảng 3. Kịch bản ứng dụng công viên thông minh**

Loại hình thuật toán	Cảnh cụ thể	Thuyết minh thuật toán
Khu công viên thông minh	Nhận biết thông minh vượt tường	Dựa trên khả năng phán đoán vượt giới hạn phân chia khu vực của dịch vụ phân tích thuật toán cảnh, kiểm soát hiệu quả người bên ngoài trèo tường vào và băng qua vành đai xanh để ra vào công viên tòa nhà. Phương pháp sử dụng dây bẫy để kiểm tra là dựa vào thuật toán kiểm tra người để xác định có vượt dây hay không, trừ các cảnh báo sai do các yếu tố gây nhiễu khác gây ra (trung tự bên dưới) như chim, mèo, rác thải
	Nhận dạng thông minh xâm nhập vào khu vực	Bằng cách vẽ tùy ý một khu vực đa giác trên màn hình giám sát video, thực hiện kích hoạt cửa sổ thể báo động sau khi có người xâm nhập vào khu vực không được phép đã thiết lập
	Nhận dạng thông minh xe đỗ trái phép	Khả năng nhận dạng phương tiện dựa trên dịch vụ phân tích thuật toán hiện trường kết hợp với khả năng nhận dạng phân định và phán đoán có thể kiểm soát hiệu quả việc người bên ngoài trèo qua hàng rào và băng qua vành đai xanh để ra vào công viên tòa nhà.
	Quản lý theo chế độ danh sách thực tế nhân viên làm việc	Dựa trên khả năng nhận dạng khuôn mặt của công nhân xây dựng của dịch vụ phân tích thuật toán hiện trường, thông qua đối chiếu ảnh chụp khuôn mặt thu thập tại hiện trường của công nhân xây dựng và chứng minh nhân dân và đưa kết quả so sánh đến các nền tảng nghiệp vụ liên quan để đăng ký tên thật nhằm đảm bảo danh tính và đảm bảo lợi ích của công nhân, đồng thời báo cáo kết quả cho nền tảng quản lý.

3) Xây dựng mô hình quản lý vòng kín mới để xử lý các bất thường bằng trí tuệ nhân tạo, tạo ra quản lý vòng kín "cảnh bảo-đầy đi- xử lý- phản hồi- thông kê" sự kiện toan toàn mô than, thực hiện đầy thông tin sự kiện bất thường đi một cách chính xác, nhanh chóng xử lý hiệu quả, xây dựng một hình thức quản lý an toàn mô than mới, trong đó có thể phát hiện những bất thường, truy tìm các vấn đề và truy tìm trách nhiệm.

4) Dựa trên kho thuật toán và tích hợp đa thuật toán một camera, có thể quản lý tập trung các kết quả phân tích thông minh và dữ liệu cảnh báo về các kịch bản nghiệp vụ trong các mô thông minh, từ đó đạt được

cảnh báo sớm, phân tích chính xác và đánh giá trước các rủi ro quản lý an toàn.

5) Hình thành mô hình ứng dụng thị giác thông minh phần mềm + máy chủ, có thể nhanh chóng triển khai và thực hiện tất cả các chức năng AI mà không cần sửa đổi phần cứng quy mô lớn, tránh trùng lặp đầu tư.

6) Thực hiện ứng dụng linh hoạt của kho thuật toán trong nhiều tình huống ở cấp quản lý mô than. Nó sử dụng khả năng tính toán, lưu trữ và xử lý dữ liệu biên để nhận dạng một cách thông minh các quy trình sản xuất ở từng khu vực và thực hiện giám sát điều khiển và phân tích Ai thời gian thực các



công đoạn dữ liệu cảm biến trong lò, khai thác than, giám sát đá vách, công tác phòng chống, thăm dò nước, địa chất và các công việc vi phạm qui định.

7) Thông qua các nghiên cứu về công nghệ phân tích video AI, cung cấp dịch vụ quản lý có độ chính xác cao đối với hệ thống quản lý thông minh quản lý an toàn trong các tình huống nghiệp vụ sản xuất an toàn, bao gồm các thuật toán AI dựa trên phân tích thông minh video trong các tình huống nghiệp vụ sản xuất an toàn nhằm đảm bảo an toàn cho công nhân và an toàn tài sản công cộng.

8) Trao quyền cho ngành than thông qua trí tuệ nhân tạo và thúc đẩy những thay đổi cơ bản trong phương thức sản xuất của ngành than. Thông qua việc nhận dạng thông minh các quy trình sản xuất an toàn, thực hiện phân tích và kiểm soát các quy trình tự động hóa, có độ chính xác cao, không cần người giám sát, tạo ra cục diện mới trong sản xuất an toàn.

9) Dựa trên phân tích dữ liệu lớn AI, thực hiện nói thông đảo thông tin các mỏ than, qua đó thực hiện nghiên cứu công nghệ hiển thị nền tảng và giám sát, đo lường quản lý an toàn, tương tác giữa người và máy về thông tin thị giác của nhiều kịch bản mỏ thông minh.

#### **4. Kết luận**

Dựa trên công nghệ nhận dạng thông minh AI, lấy công nghệ nhận dạng thông minh đồ

họa làm cốt lõi và được hỗ trợ bởi các mô hình toán học và hệ thống cảnh báo học sâu bằng máy, cung cấp giải pháp toàn diện để nhận thức toàn diện về môi trường, thiết bị và nhân sự liên quan đến mỏ thông minh và xây dựng mục tiêu ứng dụng thị giác thông minh nhiều kịch bản lên xuống lò mỏ than, thực hiện các ứng dụng nhiều kịch bản: nhận dạng tư thế thiết bị, nhận thức môi trường toàn diện, thu thập dữ liệu chính xác, cảnh báo khu vực nguy hiểm, ghi lại thời gian thực các hành vi "ba vi phạm", phát hiện tự động qui luật, lưu trữ bằng chứng tự động.

Thông qua khả năng cung cấp nhận thức toàn cảnh trong khu vực khai thác mỏ, nó bù đắp những thiếu sót của hệ thống giám sát truyền thống, giải quyết việc đánh giá sai về quản lý và kiểm soát an toàn mỏ than dựa vào các yếu tố như kinh nghiệm và trực giác, giảm sự can thiệp thủ công vào giám sát sản xuất an toàn và làm cho hoạt động giám sát an toàn sản xuất trở nên thông minh và tiêu chuẩn hóa hơn, nhằm thúc đẩy quá trình chuyển đổi quản lý an toàn mỏ than từ phòng vệ con người sang phòng vệ kỹ thuật, từ trực giác sang nhận thức, để trao quyền cho các mỏ than thực hiện các kịch bản vận hành tự động giúp giảm thiểu con người và nâng cao hiệu quả, ít người, không người, điều này có ý nghĩa quan trọng đối với sự phát triển thông minh hóa hoạt động khai thác than của Trung Quốc

# Công nghệ VR/AR và đào tạo nhân sự cho ngành khai thác mỏ

>> **KS. Trần Tiến Huệ**, Công ty CP Tư vấn đầu tư và công nghiệp mỏ - Vinacominn

**Tóm tắt:** Các công nghệ hiện đại để mô hình hóa kỹ thuật số các hoạt động khai thác có thể mở rộng ranh giới đào tạo thực tế không chỉ cho các kỹ sư khai thác mỏ trong tương lai mà còn cho các chuyên gia đang làm việc. Trong quá trình học tập, điều quan trọng là phải đảm bảo mức độ mô phỏng cao của môi trường khai thác sản xuất, được con người cảm nhận gần như thực tế. Trong bối cảnh này, việc phát triển các giải pháp công nghệ dựa trên thực tế ảo và thực tế tăng cường (công nghệ VR/AR) trở nên phù hợp nhất. Nền tảng cho sự phát triển VR/AR trong khai thác được đặt ra nhờ tự động hóa sâu các quy trình công nghệ trong bối cảnh chuyên đổi kỹ thuật số quy mô lớn. Những phát triển tiếp theo theo hướng này có thể thay đổi một số thực thể truyền thống hiện có hoặc tạo ra những thực thể mới, bao gồm cả hệ thống đào tạo nhân sự. Bài báo giới thiệu kinh nghiệm trong nước và quốc tế trong quá trình đào tạo các kỹ sư khai thác mỏ, nhiều khóa học, phòng thí nghiệm đào tạo và trung tâm nghiên cứu về nghiên cứu khai thác, sử dụng công nghệ AR/VR đã được tạo ra tại các trường đại học để cải thiện việc đào tạo các kỹ sư khai thác mỏ, chuẩn bị cho họ việc làm và giảm chi phí đào tạo.

**Abstract:** Modern technologies for digital modeling of mining operations can expand the boundaries of practical training not only for future mining engineers, but also for working professionals. During the learning process, it is important to ensure a high level of simulation of the production mining environment, which is perceived by humans as almost real. In this context, the development of technological solutions based on virtual reality and augmented reality (VR/AR technology) becomes most relevant. The foundation for the development of VR/AR in mining is laid by the deep automation of technological processes in the context of large-scale digital transformation. Further developments in this direction may change some existing traditional entities or create new ones, including personnel training systems. The article introduces domestic and international experiences in the training of mining engineers, many courses, training laboratories and research centers on mining research, using AR/VR technology have been created at universities to improve the training of mining engineers, prepare them for employment and reduce training costs.

## 1. Mở đầu

Bụi than và khí thải metan trong quá trình khai thác than trong những năm gần đây, đã có sự chuyển đổi từ khai thác mỏ truyền thống sang khai thác mỏ thông minh, điều này đã cải thiện đáng kể khả năng của các kỹ sư khai thác trong việc xác định mối nguy hiểm và đưa ra quyết định tiếp theo để đảm bảo an toàn công nghiệp. Tuy nhiên, để đào tạo các kỹ sư mỏ trên cơ sở thực tế có những khó khăn không nhỏ nếu áp dụng mô hình đào tạo truyền thống do: hệ thống khai thác mỏ phức tạp và phân cấp và môi trường giảng dạy và phổ biến khoa học kém; khó tái hiện thảm họa khai thác than và các khái niệm liên quan đến đối tượng còn mơ hồ.

Hiện nay, đã có sự gia tăng về số lượng các dự án giới thiệu công nghệ tăng cường (AR) và thực tế ảo (VR), được sử dụng tích cực trong nhiều lĩnh vực khác nhau của đời sống con người, từ công nghiệp đến giáo dục. Vì cả AR và VR đều là những thành phần chính của khái niệm Công nghiệp 4.0, nên các công ty trên toàn thế giới đang đầu tư mạnh vào việc phát triển chúng. Ví dụ, Google và Microsoft, ban đầu tập trung sản phẩm của họ vào thị trường tiêu dùng, hiện đã cung cấp cho cả mục đích sử dụng công nghệ của họ trong công nghiệp và giáo dục. Công nghiệp 4.0, bao gồm các hệ thống mạng vật lý, Internet vạn vật và các mạng lưới phức tạp kết hợp sản xuất công nghiệp

với các công nghệ thông tin và truyền thông mới nhất, liên quan đến việc tạo ra các nhà máy thông minh, chẳng hạn như mạng và nhà máy tự động.

Công nghệ AR và VR đang được sử dụng để giải quyết nhiều vấn đề khác nhau trong quá trình đào tạo kỹ sư khai thác mỏ, từ thiết kế dây chuyền công nghiệp mới và sản phẩm cuối cùng đến hỗ trợ đào tạo nhân sự trong sửa chữa. Công nghệ được áp dụng vào đào tạo có thể thay đổi vai trò của yếu tố con người bằng cách giảm thiểu rủi ro liên quan đến việc vận hành thiết bị không đúng cách khi làm việc tại các cơ sở nguy hiểm.

Nhằm cung cấp kiến thức, kỹ năng, và kinh nghiệm đặc thù để phát triển người học - các kỹ sư mỏ tương lai thành những chuyên gia trong lĩnh vực khai thác mỏ, việc quan tâm áp dụng những thành tựu của Cách mạng 4.0 trong lĩnh vực VR/AR cho đào tạo trong ngành mỏ là hết sức cần thiết.

Bài báo tóm tắt kinh nghiệm trong nước và quốc tế trong quá trình đào tạo các kỹ sư khai thác mỏ, nhiều khóa học, phòng thí nghiệm đào tạo và trung tâm nghiên cứu về nghiên cứu khai thác, sử dụng công nghệ AR/VR đã được tạo ra tại các trường đại học để cải thiện việc đào tạo các kỹ sư khai thác mỏ, chuẩn bị cho họ việc làm và giảm chi phí đào tạo.

## **2. Các ứng dụng AR/VR trong đào tạo kỹ sư khai thác mỏ**

Các công nghệ AR/VR mới nhất để mô phỏng các quy trình sản xuất khai thác mỏ rộng rãi giới của đào tạo khai thác thực tế. Trong quá trình giáo dục, điều quan trọng là phải đảm bảo mô phỏng tiên tiến môi trường sản xuất, được sinh viên coi là thực tế. Đào tạo chuyên nghiệp dựa trên AR/VR cho phép sinh viên tham gia vào các quy trình sản xuất của một doanh nghiệp khai thác và tham gia vào các hoạt động chuyên môn trong tương lai của họ.

Sự phát triển VR/AR trong khai thác dựa trên việc tự động hóa các quy trình công nghệ trong bối cảnh chuyển đổi số của xã hội hiện đại. Một hiệu ứng đáng kể của công nghệ VR/AR được áp dụng vào đào tạo thực

tế của các kỹ sư đạt được thông qua việc hình thành các năng lực chuyên môn trong việc xử lý thiết bị khai thác.

### **2.1. Kinh nghiệm sử dụng VR trong quá trình đào tạo kỹ sư khai thác mỏ**

Truyền thông di động, Internet vạn vật, trí tuệ nhân tạo và điện toán đám mây cung cấp cơ sở hạ tầng thông tin cần thiết cho khai thác thông minh. Nhờ những công nghệ hiện đại này, các hệ thống VR thế hệ tiếp theo cho khai thác ngầm đang được tạo ra để cải thiện khả năng thích nghi chuyên môn và quy trình an toàn nghề nghiệp của các kỹ sư khai thác tương lai.

Các nghiên cứu ứng dụng đào tạo bằng công cụ VR kết luận rằng sinh viên sử dụng ứng dụng VR học nhanh hơn gấp bốn lần so với những người học trong lớp học. Đào tạo được thực hiện bằng cách sử dụng trình mô phỏng VR (Hình 1) để đào tạo người vận hành và trình mô phỏng bảo trì, đây là các chương trình đào tạo thực tế ảo quan trọng cho ngành khai thác mỏ. Các hệ thống này có thể theo dõi quá trình đào tạo và cung cấp phản hồi cho sinh viên. Gamification là một tính năng của đào tạo VR, cho phép lặp lại các hoạt động học tập cho đến khi đạt được trình độ năng lực và năng suất mong muốn.

Công ty Maptek, hợp tác với LlamaZOO MineLife, đã phát triển các công cụ kỹ thuật số VR để trực quan hóa các quy trình sản xuất tại các công ty khai thác mỏ ở Canada, Úc và Nam Phi. Với sự trợ giúp của LlamaZOO MineLife, một mô hình kỹ thuật số của một mỏ ngầm đã được tạo ra, có thể sử dụng với tai nghe VR hoặc máy tính để khám phá địa điểm (Hình 2). Công nghệ này có thể được sử dụng cho mục đích giáo dục để đào tạo chuyên nghiệp và đào tạo lại các kỹ sư khai thác mỏ. Việc sử dụng các mô hình kỹ thuật số của mỏ làm cho quá trình đào tạo kỹ sư khai thác mỏ gần hơn với điều kiện làm việc thực tế và an toàn hơn.

Công ty First Quantum Minerals đã lắp đặt các máy mô phỏng Cybermine 5 Full-Mission từ ThoroughTec tại mỏ ngầm của mình để đào tạo người vận hành thiết bị khai thác. Các buồng mô phỏng (Hình 3) là

bản sao của thiết bị khai thác thực tế, với các công cụ hoạt động như trong quá trình vận chuyển mỏ thực tế. Máy mô phỏng cho phép người vận hành kiểm tra và thực hành các kỹ năng cần thiết trong trường hợp khẩn cấp (hông phanh, hỏa hoạn, v.v.). Đáng chú ý, hai máy mô phỏng có thể tương tác với nhau để đào tạo làm việc nhóm trong các tình huống sản xuất thực tế.

Do đó, VR là một thành phần quan trọng



**Hình 1. Thực tế ảo là công cụ thay đổi cuộc chơi cho ngành khai thác**



**Hình 3. Buồng khai thác mô phỏng**

## 2.2. Kinh nghiệm sử dụng AR trong quá trình đào tạo kỹ sư khai thác

Trong ngành khai thác, công nghệ AR phát triển nhanh chóng, do đó góp phần vào sự phát triển của các phương pháp và công cụ đào tạo cho các chuyên gia tương lai. Khi sử dụng AR, nội dung số được chồng lên môi trường sản xuất thực tế, đưa quá trình đào tạo gần với điều kiện sản xuất nhất có thể. Ưu điểm của công nghệ này là không tốn kém. Chỉ cần một chiếc điện thoại thông minh là đủ.

Các trình mô phỏng AR cho phép chuẩn bị cho các kỹ sư khai thác tương lai làm việc trên sàn sản xuất mà không cần phải đến cơ sở công nghiệp. AR có thể được sử dụng để tạo điều kiện cho các chuyên gia khai thác tuyển đầu tham gia tư vấn từ xa cho các kỹ sư khai thác tương lai.

Nhà phát triển đã tạo ra một nền tảng AR để mô phỏng hoạt động khai thác không người lái trong các mỏ ngầm, cho thấy kết quả tốt và hoạt động ổn định. Người ta nhận thấy rằng hoạt động sản xuất như vậy có một

của khai thác thông minh, nhưng có một số vấn đề khi đưa các công nghệ này vào quá trình đào tạo kỹ sư khai thác. Chúng đắt tiền và không có phương pháp nào để đánh giá hiệu quả của chúng. Các công nghệ này cũng yêu cầu người hướng dẫn phải được đào tạo trước và phức tạp để thích ứng với các điều kiện sản xuất khác nhau ở các khu vực khác nhau.



**Hình 2. Sử dụng VR để theo dõi hiệu suất của máy khai thác theo thời gian thực**



**Hình 3. AR rảnh tay với hướng dẫn trực quan**

số lợi thế, cụ thể là hiệu quả cao, an toàn và chi phí thấp.

RealWear đã phát triển một thiết bị công thái học (Hình 4) vừa vặn dưới mũ bảo hiểm và không ảnh hưởng đến việc sử dụng kính bảo hộ trong môi trường công nghiệp. Thiết bị giúp công nhân truy cập tài liệu (hướng dẫn, bản vẽ, v.v.), tăng tốc tương tác với các nhân viên khác và tạo điều kiện thuận lợi cho việc điều hướng trên sàn sản xuất.

DAQRI đã phát triển một tai nghe AR (Hình 5) dành cho kỹ sư và kỹ thuật viên, có thể được sử dụng để sửa chữa, bảo trì và kiểm tra thiết bị công nghiệp. Trong khi làm việc tại doanh nghiệp, các hướng dẫn sẽ được hiển thị trên màn hình để hướng dẫn nhân viên. Ngoài ra, người lao động có thể kết nối từ xa với người cố vấn hoặc chuyên gia để thực hiện nhiệm vụ.

Plutomen thiết kế và phát triển công nghệ AR sáng tạo (Hình 6) nhằm mục đích cải thiện quy trình sản xuất, đào tạo kỹ sư khai thác và loại bỏ các hạn chế về không gian và thời gian để giao tiếp giữa nhân viên và